

Ästhetisch motivierte Gestaltung als persuasives Element in interaktiven Medien

Dissertation
der Fakultät für Angewandte Informatik
der Universität Augsburg

zur Erlangung des Grades eines
Doktor-Ingenieurs
(Dr.-Ing.)
vorgelegt von

Dipl.-Inf. (FH), Dipl.-Des. (FH), MSc., MA.
René Daniel Bühling

Augsburg
2015

Amtierender Dekan:	Prof. Dr. Bernhard Bauer
Gutachter:	Prof. Dr. Elisabeth André (Universität Augsburg) Prof. Dr. Berhard Möller (Universität Augsburg) Prof. Dr. Ulrike Spierling (Hochschule RheinMain, Wiesbaden)
Tag der Prüfung:	17. April 2015

Zusammenfassung

Für Anwender spielt die Begeisterung für ein Produkt eine wichtige Rolle wenn es darum geht, mit Hilfe von unterstützender Software persönliche Ziele zu erreichen, wie es z.B. bei virtuellen Fitness-Trainern, Ernährungsratgebern, Energiesparassistenten und anderen Empfehlungssystemen der Fall ist. Das Forschungsfeld des „Persuasive Computing“ beschäftigt sich mit Mechanismen, die einen Anwender zu einem selbst gesteckten Ziel führen.

Bisher dominierten in der Informatik sachliche (d.h. messdatennahe) Darstellungsformen als Grundlage von Visualisierungen. Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur ästhetischen Gestaltung dar, deren emotionale Komponente als persuasives Werkzeug dienen kann. Hierbei spielt weniger die rationale Effizienz als vielmehr die erzählerische Eigenschaft eine Rolle, die sich wiederum besonders gut für dramatische Inszenierungen wie z.B. Computerspiele eignet. Weil der klassische statische Gestaltungsprozess nicht auf die Dynamik interaktiver Medien eingehen kann, wird ein Ansatz zu adaptiver grafischer Formgebung vorgestellt, mit dem sich die visuelle Expressivität einer virtuellen Inszenierung in Echtzeit an eine inhaltliche Dramaturgie anpasst.

Diese flexible „Formensprache“ wurde für eine virtuelle Landschaft umgesetzt. Durch Anbindung an Energieverbrauchsdaten zeigt der Transfer in ein Alltagsszenario wie eine solche ästhetische Darstellungsform Aussagen zur Bewertung des eigenen Verhaltens transportieren kann. Konzepte der Spielifizierung bauen auf Wettbewerbs- sowie Kollaborationseffekte auf, die sich in der Weiterentwicklung des ästhetisch motivierten Ansatzes potentiell für eine Wirkungsverstärkung eignen. Virtuelle Agenten lassen sich zudem einsetzen, um durch Personifizierung eine starke emotionale Bindung zu generieren. Anhand von Studien wurden schließlich sachlich und ästhetisch motivierte Gestaltung gegenüber gestellt und das Potential von ästhetisch motivierter Gestaltung aufgezeigt.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen Dank denjenigen gegenüber zum Ausdruck bringen, die eine förderliche Atmosphäre für das Entstehen der vorliegenden Arbeit geschaffen haben.

Mein besonderer Dank gilt meiner Doktormutter Prof. Dr. Elisabeth André, die durch ihre offene, respektvolle und freundliche Art ein produktives Arbeitsklima geschaffen hat. Ihre Offenheit für disziplinübergreifende Arbeiten machte die Entstehung einer kreativen Atmosphäre überhaupt erst möglich und führt in Kombination mit ihrem unglaublich breit gefächerten Wissen zu immer neuen Impulsen und konstruktiven Anregungen. Zudem bedanke ich mich bei Prof. Dr. Bernhard Möller und Prof. Dr. Ulrike Spierling für ihre freundliche Unterstützung und konstruktiven Anregungen.

Im Verlauf der vergangenen Jahre, in denen diese Arbeit und ihre Teilbereiche entstanden, war ich in eine Reihe von Projekten und Tätigkeiten involviert und traf auf unterschiedlichste Menschen. Ich danke meinen Kollegen am Lehrstuhl für die gute Zusammenarbeit in Projekten wie auch dem generellen Arbeitsalltag. Ich bedanke mich besonders bei Michael Wißner, Jochem Liem, Floris Linnebank und Wouter Beek für die konstruktive, respektvolle und effiziente Zusammenarbeit im Rahmen des *DYNALearn*-Projekts. Meinen Kollegen Mohammad Obaid und Stephan Hammer danke ich für die gute Zusammenarbeit im Bereich der Energiethemen, die z.B. für das gelungene Girls' Day-Szenario und damit einhergehende Publikationen und Fortführungen maßgeblich war. Herzlichen Dank spreche ich auch Dr. Birgit Endrass aus, die mir wertvolle Impulse und Anregungen während der Umsetzung dieser Arbeit gab. Ausdrücklich möchte ich mich auch bei der kanadisch-französischen Gaststudentin Emilie Brihi für ihr außerordentliches Engagement und ihre hervorragende konstruktive Zusammenarbeit während des von mir betreuten Praktikums im Themengebiet dynamischer Visualisierung bedanken. Vielen Dank spreche ich auch allen im Hintergrund beitragenden aus, z.B. den zahlreichen Studienteilnehmern.

Ich bin für folgende Projekte und Förderprogramme dankbar, die zur organisatorischen Rahmung meiner Arbeit beigetragen haben: Das *DYNALearn*-Projekt¹, das von der Europäischen Kommission im Rahmen des „7th Framework Programme“ gefördert wurde, machte die Arbeit an den virtuellen Hamstern im Bereich „Character Design“ möglich. Einige Arbeitsteile im Themenbereich „Adaptive Formensprache“ wurden durch den Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) im Rahmen des *RISE*-Programms² unterstützt. Die Arbeit rund um das Thema „Energiesparen und Umweltschutz“ entstand im Kontext des Projekts *IT4SE*³, das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert wurde.

Meiner Familie, Prof. Jens Müller und Prof. Dr. Thomas Rist von der Hochschule Augsburg danke ich für ihr Wirken als Wegbereiter und Förderer, ohne die es nicht möglich gewesen wäre, diesen persönlichen und beruflichen Werdegang zu vollziehen. Für unterstützende Gespräche und konstruktive Diskussionen auf fachlicher sowie menschlicher Ebene möchte ich zudem Dr. Masood Masoodian, Dr. Peter Maidl und Holger Kempf meinen Dank aussprechen.

Abschließend bedanke ich mich herzlich bei Daniel, der durch seine liebevolle und fürsorgliche Art immer für mich da war.

– René Bühling

¹ Project no. 231526, <http://www.DynaLearn.eu>

² Research Internships in Science and Engineering, <http://www.daad.de/rise>

³ IT for Smart renewable Energy generation and use, <http://www.it4se.net>

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Danksagung	5
Inhaltsverzeichnis.....	7
1. Einführung und Motivation.....	11
1.1 Ziele und Lösungsansätze.....	14
1.2 Überblick über die Arbeit.....	16
2. Theoretischer Hintergrund	19
2.1 Zum Begriff der Persuasion.....	19
2.2 Begriffliche Eingrenzung von „Gestaltung“	20
2.3 Abstufungen von Gestaltungsgraden	21
2.4 Der kreative Prozess in der Informatik	23
2.5 Kapitelzusammenfassung	25
3. Sachlich motivierte Visualisierungswerkzeuge: TimePie und TimeStack.....	27
3.1 Theoretischer Hintergrund	27
3.2 Bestehende Ansätze	32
3.3 Neuer Ansatz „TimePie“	35
3.4 Neuer Ansatz „TimeStack“	41
3.5 Gegenüberstellung von „TimePie“ und „TimeStack“	45
3.6 Zusammenfassung der Nutzerbefragung.....	48
3.7 Kapitelzusammenfassung	51
4. Adaptive Formensprache: Interaktive, ästhetisch motivierte Gestaltung.....	53
4.1 Theoretischer Hintergrund	54
4.1.1 Gestaltungsansätze im Kontext visuellen Erzählens.....	55
4.1.2 Filmgestaltung als Inspiration für interaktiven Medien.....	58
4.1.3 Bestehende Ansätze	60
4.1.4 Ziele und Herausforderungen.....	71
4.2 Abgrenzung und Ansatz.....	73

4.3	Formensprache als Kommunikationselement.....	74
4.4	Technischer Ansatz	77
4.4.1	Implementierung der Formensprache mittels Shapekeys (Präsentation)	78
4.4.2	Erweiterung der adaptiven Kanäle (Präsentation).....	82
4.4.3	Formulierung von Dramaturgie und Inhalt (Modell).....	89
4.4.4	Dynamik und Interaktion (Steuerung).....	91
4.4.5	Das 3-Rollen-Modell als Analogie eines Filmteams	92
4.5	Herausforderungen und Risiken adaptiver Formgebung.....	95
4.6	Bedeutung für die Persuasion	97
4.7	Kapitelzusammenfassung	98
5.	Transfer des Formensprache-Ansatzes	99
5.1	Theoretischer Hintergrund	99
5.1.1	Zielgruppen.....	103
5.1.2	Kontexte, Aktivitäten und Gebrauchsgegenstände.....	104
5.2	Bestehende Ansätze	106
5.3	Artifizielle Pflanzen als Methode persuasiver Datenvisualisierung.....	109
5.4	Technischer Ansatz	112
5.4.1	Grundsätzlicher Systemaufbau	113
5.4.1.1	Serverseitiger Datenrekorder.....	113
5.4.1.2	Clientseitiger Datenrecorder.....	119
5.4.1.3	Publikationsserver.....	120
5.5	Formensprache als visueller Auslöser	122
5.6	Gegenüberstellende Evaluierung von sachlicher und ästhetischer Energiedatenvisualisierung	125
5.6.1	Untersuchungsgegenstand / These.....	125
5.6.2	Aufbau	126
5.6.3	Ergebnisse der AttrakDiff-Analyse.....	129
5.6.4	Ergebnisse der Zusatzbefragung.....	132
5.7	Storyboard eines Szenarios	136

5.8	Diskussion, Beobachtungen, Perspektiven.....	138
5.9	Nutzung von Kollaborations- und Wettbewerbseffekten	142
5.9.1	Theoretischer Hintergrund	142
5.9.2	Adaptive Formensprache als Spielelement	144
5.9.3	Migration in soziale Netzwerke und Spielifizierung.....	147
5.10	Kapitelzusammenfassung	152
6.	Verstärkung der emotionalen Bindung durch virtuelle Charaktere.....	155
6.1	Bestehende Ansätze	155
6.2	Ansatz für pädagogische Agenten.....	158
6.2.1	Für die Gestaltung relevante Projektparameter.....	158
6.2.2	Aspekte für die Gestaltung interaktiver Agenten	159
6.2.3	Reflexion des Projektrahmens in der Persönlichkeitsgestaltung.....	162
6.3	Ebenen grafischer Konkretisierung im DynaLearn-Projekt.....	164
6.3.1	Farbigkeit.....	165
6.3.2	Animation & Verhalten	167
6.4	Zusammenfassung der Nutzerbefragungen	170
6.4.1	Wirkung der Charakter-Entwürfe an sich (Studie »Peedy«)	171
6.4.2	Transport von Rolle und Persönlichkeit (Studie »Hamster«)	172
6.4.3	Wirkung im Dialogverhalten (Studie »Betty«).....	174
6.4.4	Zusammenfassung der Teilstudien und Erweiterungsmöglichkeiten ...	175
6.5	Kapitelzusammenfassung	176
7.	Reflexion und Perspektive	177
7.1	Beiträge dieser Arbeit	181
7.2	Ausblick	183
8.	Anhang A – Visualisierung zweidimensionaler Bewegungsmerkmale.....	187
9.	Anhang B – Datenblätter	197
9.1	Tabelle: Persuasive Projekte mit Energiesparzielen	197
9.2	Tabelle: Musterdaten TimePie und TimeStack	200
9.3	Anlagen zur Ästhetik-Evaluation	200

9.3.1	Tabelle: AttrakDiff-Wortpaare	200
9.3.2	Liste: Ergänzungsfragen zum AttrakDiff-Fragebogen	202
9.3.3	Texte: Freitext-Kommentare der Teilnehmer	203
9.4	Liste: Felder des Energie-Rekorders	205
9.5	Liste: Vom Publikationsserver veröffentlichte Daten	207
9.6	Anlagen zur DynaLearn-Charakter-Evaluation	214
9.6.1	Liste: Fragen und Attribute.....	214
9.6.2	Diagramme: Metadaten der Teilnehmer.....	215
9.6.3	Diagramme: Antworten Studie »Peedy« (Character-Vergleich)	216
9.6.4	Diagramme: Antworten Studie »Hamster« (Rollen-Vergleich).....	218
9.6.5	Diagramm: Antworten Studie »Betty« (System-Vergleich)	223
10.	Anhang C – Verzeichnisse und Referenzen	225
10.1	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	225
10.2	Externe Bildquellen.....	239
10.3	Lebenslauf und Profil des Autors	241
10.3.1	Publikationen.....	242
10.3.2	Lehrtätigkeit.....	247
10.3.3	Betreuung studentischer Abschlussarbeiten	248

1. Einführung und Motivation

In der Informatik kommt häufig eine „sachliche“ Datenvisualisierung zum Einsatz, bei der inhaltlich präzise Messgrößen grafisch repräsentiert werden. Zumeist handelt es sich dabei um Darstellungsformen wie Zeitleisten oder Balken- bzw. Kuchendiagramme. Schaut man im Gegensatz dazu auf die Arbeiten von Künstlern, wie z.B. Malern, Bildhauern, Filmemachern usw., stellt man fest, dass diese eine expressive, erzählerische Visualisierungsform anstreben. Dabei liegt der Arbeitsschwerpunkt nicht auf der sachlich-präzisen Wiedergabe von detaillierten Daten, sondern auf einer Form des Geschichtenerzählens, die häufig Gefühle und subjektive Eindrücke einsetzt, um nicht nur die Aussage selbst, sondern ihre *Bedeutung* zu unterstreichen. Anstelle der Aufzählung konkreter Daten wird versucht, eine emotionale Wertigkeit zu vermitteln, also ob Messwerte und daraus resultierende Konsequenzen z.B. als „gut“ oder „schlecht“ zu bewerten sind.

In der Charakteristik, dass die bildende Kunst die innere, gedankliche Welt des Betrachters anspricht, lässt sich bereits eine Nähe zur *Persuasion* feststellen. Durch das Hineinversetzen und Einfühlen in die abgebildete Welt wird das Publikum von den Handlungsmotiven überzeugt. In der vorliegenden Arbeit wird dieser Ansatz grafischer Gestaltung mit dem Ziel einer Bedeutungsvermittlung als *ästhetische Motivation* bezeichnet.

Dass dieses Thema in der Informatik an Bedeutung gewinnt, zeigt sich an einer steigenden Zahl von Veröffentlichungen und Forschungsarbeiten. Die Gruppe um M. Hassenzahl hat sich beispielsweise mit der Frage beschäftigt, wie die ästhetische Dimension von visueller Gestaltung erfasst und gemessen werden kann. Infolge wurde ein Fragebogen entwickelt, der neben den klassischen, meist effizienzorientierten Evaluierungen der Usability-Forschung auch stimulierende und identitätsgebende Merkmale berücksichtigt⁴ (Hassenzahl, et al., 2003). Das Feld der *Computational Creativity* beschäftigt sich mit maschineller Schöpfungskraft, in dem Erkenntnisse zur Kreativitätsforschung aus Psychologie und Philosophie in die Computerwissenschaft übertragen werden. Hierfür etablierte beispielsweise M. Boden sowohl theoretische Definitionen zur Interpretation von Kreativität als auch technische Modelle zur computergetstützten Implementierung derselben (Boden, 2004). An der *UNIVERSITY OF CALIFORNIA* entstand eine Forschungsgruppe zu *Expressive AI*, also ausdrucksstarker künstlicher

⁴ Der „AttrakDiff“-Fragebogen wurde in Kapitel 5.6 zur Bewertung von Visualisierungskonzepten dieser Arbeit eingesetzt.

Intelligenz (KI). Der Begriff geht auf Michael Mateas zurück, der ihn seit 2001 verwendet, um eine Interpretation von KI als Kommunikationswerkzeug zwischen Autor und Publikum zu beschreiben. Dabei wird sie nicht mehr als rein technische Implementierungsgrundlage verstanden. Als „interdisziplinäre Agenda“ entsteht statt dessen ein Verbund von Spielkonzepten, grafischer Gestaltung und technischer Forschung, der KI auch für Designer und Theoretiker interessant macht (Mateas, 2001; Mateas, 2003).

Auch wissenschaftlichen Konferenzen und Fachtagungen widmen Programmteile und Themenblöcke zunehmend ästhetischen Ansätzen, wie z.B.:

- *Special Interest Group on Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)*: u.a. regelmäßiger „Art Track“ mit künstlerischen Arbeiten und Papieren
- *Smart Graphics*: Kunstaussstellungen, „Art Tracks“ und „Design Sessions“
- *ACM Multimedia*: eigene „Art Exhibition“ im Programm
- *International Working Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI)*: Keynotes zu Google Art Project und künstlerische Retrospektive
- u.a.

Welcher konkrete Nutzen könnte aus der Verbindung von Informatik und künstlerischer Gestaltung resultieren? Boden unterscheidet hier zwei Aspekte: Einerseits eignen sich algorithmische Lösungen potentiell dazu, um kreative Aufgaben von einem Rechner lösen zu lassen. Andererseits können Computer dazu eingesetzt werden, Menschen in ihrer Kreativität anzusprechen, zu unterstützen und zu fördern (Boden, 2004). Die vorliegende Arbeit fokussiert den letzteren, menschenzentrierten Ansatz.

Die Ausgestaltung beispielsweise eines Computerspiels dient unter anderem dazu, die **Glaubwürdigkeit und Authentizität** der virtuellen Welt zu verstärken und dadurch wiederum die **Immersion zu erhöhen**. Auch die subjektive Bewertung durch den Spieler, also ob das Design begeistert, interessiert und überzeugt, kann sich auf die **Anwendermotivation** auswirken. Wird die Anwendung so ausgearbeitet, dass das visuelle Thema mit dem inhaltlich transportierten Thema übereinstimmt, verbessert sich die **intuitive Verständlichkeit**, was den Umgang mit dem Produkt erleichtert, was wiederum das Interesse am Produkt erhöhen kann. Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt im Bereich spielerischen Lernens, wo sich z.B. die Exploration eines virtuellen

Aquariums nutzen ließe, um Umweltveränderungen durch prompte visuelle Reaktion auf Interaktion leicht verständlich und unterhaltsam darzustellen. Die Auswertung von dynamischen Umgebungsparametern, Signalen und Eingaben ermöglicht in Kombination mit der Leistungsfähigkeit digitaler Grafiksysteme die **Überwindung der Grenzen statischer bzw. linearer Medien**, wie sie bei klassischen Bild- und Filmprodukten gegeben sind. Die damit einhergehende Dynamik ermöglicht völlig neue künstlerische Konzepte. In Arbeiten zum Thema interaktiver Cinematographie, deren gesonderter Betrachtung Kapitel 4 gewidmet ist, wird neben der Bereicherung des Endanwendererlebnisses auch ein Einsatzgebiet für Künstler und Medienschaffende genannt: Als Werkzeug für schnelle Prototypisierung gewinnt der **Arbeitsfluss von Autoren an Effizienz**, in dem sich visuelle Effekte durch die mittels Softwaretechnik gewonnene Flexibilität schnell ausprobieren, überarbeiten und bewerten lassen.

1.1 Ziele und Lösungsansätze

Das Ziel dieser Dissertation ist es, den Prozess der Softwareentwicklung um ästhetisch motivierte Gestaltungstechniken zu ergänzen, so dass die Mensch-Maschine-Kommunikation von den persuasiven Eigenschaften des künstlerischen Ansatzes profitiert. Folgende Beobachtungen liegen der Arbeit zugrunde:

1. Grafisch unattraktiv gestaltete Softwareprodukte wirken nicht überzeugend und sind dadurch weniger erfolgreich und wirksam.

Aus Sicht der Software-Vermarktung haben die Entwickler ein Interesse daran, dass sich das Produkt von anderen abhebt und Menschen so begeistert, dass sie es aus eigenem Antrieb heraus nutzen und darüber sprechen, d.h. es weiter verbreiten. Aus Sicht des Anwenders spielt die Begeisterung für das Produkt jedoch eine ebenso wichtige Rolle wenn es darum geht, mit Hilfe von Software persönliche Ziele zu erreichen, wie es z.B. bei virtuellen Fitness-Trainern, Ernährungsratgebern, Energiesparassistenten und anderen Empfehlungssystemen der Fall ist. Ästhetische Gestaltung weist eine emotionale Komponente auf, durch die diese Anwenderbindung verstärkt werden kann.

2. Statisch gestaltete interaktive Dramen sind in ihrer Aussage oft inkonsistent.

Klassische Medien (Literatur, Bild, Film,...) unterliegen in der Regel einem statischen Gestaltungsprozess, da sich die Aussage zur Anwendungszeit nicht mehr verändert. In Echtzeitmedien kann sich, insbesondere unter Berücksichtigung von Anwenderinteraktion, die vorherrschende Dramaturgie der Inhalte, teils nur bedingt vorhersehbar, verändern. Obwohl sich die Dramaturgie der Handlung teils drastisch ändert, bleibt die visuelle Inszenierung in vielen Computerspielen statisch. Kriegsszenen, wie sie z.B. in der *HERR DER RINGE*-Trilogie vorkommen, bestehen meist aus mehreren Phasen, wie dem Aufeinandertreffen der Parteien, ggf. vorangehenden Diskussionen, der eigentlichen Kampfhandlung und dem Sieg oder der Niederlage der Parteien. Von zwischengeschalteten, fest definierten Filmsequenzen abgesehen, bleibt die Szenengestaltung vom Handlungsablauf unberührt. Grafische Charakteristika wie Beleuchtung, Farbigkeit und Inszenierung der Szene sind im Wesentlichen statisch, obwohl sich das interaktive Kampfgeschehen auf die inhaltliche Bedeutung auswirkt. Der These folgend, dass Grafik-Design eine visuelle Kommunikation inhaltlicher Aussagen ist, muss dieses in Konsequenz aber ebenfalls über eine dynamische Charakteristik verfügen, um ein konsistentes Ganzes zu erhalten. Der Spielverlauf, also beispielsweise ob der Spie-

ler dem Gegner *momentan* überlegen ist oder ihm unterliegt, kann durch dynamische Gestaltungsmittel, wie z.B. Licht, Kamera, Farbigkeit, und andere grafische Aussagen, in Echtzeit visuell transportiert werden. Die visuelle Expressivität stimmt dann mit der inhaltlichen Erzählung überein.

3. Bestehende Ansätze interaktiver Cinematografie decken bisher nur Teilbereiche einer im Idealfall ganzheitlichen Inszenierung ab.

Die äußere Form eines Objekts, also ob es sich z.B. durch runde oder kantige Umrisse definiert, vermittelt einen Eindruck über dessen erzählerische Bedeutung. Bisherige Arbeiten, die sich mit der Frage befassen, wie filmtechnische Methoden (z.B. Kameraführung, Beleuchtung, ...) in virtuellen 3D-Szenen softwaretechnisch automatisiert werden können, befassen sich mit dieser „Formensprache“ bisher kaum. Vor dem Ziel eines vollständigen Werkzeugsatzes stellt dieses Gestaltungsmittel einen neuen Baustein auf dem Weg zur vollständigen Automatisierung von visueller Expressivität dar.

4. Prototypische Umsetzungen interaktiver Dramen erfordern einen hohen Zeit- und Arbeitsaufwand, wenn die grafische Dramaturgie berücksichtigt wird.

Bei der Inszenierung virtueller Dramen ist die Anwendung von Bildgestaltungsmitteln zeit- und arbeitsintensiv, so dass sie bei knappen Ressourcen leicht Einsparungsmaßnahmen zum Opfer fällt. Implementiert man dynamisches Bildmaterial, so lässt sich dieses als Werkzeug für schnelle Prototypenerstellung einsetzen. Mittels der in der Arbeit vorgestellten dynamischen Formsprache (Kapitel 4.3) lassen sich Szenen gestalten, deren grafische Charakteristik sich durch einfache Werteingaben anpassen lässt.

5. Die beabsichtige Kommunikation durch virtuelle Charaktere ist nicht erkennbar, wenn die Agenten nicht überzeugend wirken.

In der Mensch-Maschine-Kommunikation realisieren Agenten ein virtuelles Gegenüber, dessen Rolle der eines menschlichen Gesprächspartners ähnelt. Für ein überzeugendes Ergebnis ist nicht nur wichtig, dass der Agent richtig funktioniert, sondern dass er für den Anwender authentisch und verständlich auftritt. Dies hängt auch stark von der grafischen Lesbarkeit ab, die widerspiegeln soll, welche momentanen Zustände und Absichten den Charakter antreiben. Anhand konkreter Agenten und deren Evaluierung zeigt die Arbeit, wie sich das in der Cinematographie angewandte Konzept visueller Adaption auch auf virtuelle Charaktere übertragen und in der Nutzerführung einsetzen lässt.

1.2 Überblick über die Arbeit

Die Struktur der vorliegenden Arbeit folgt allgemein dem Aufbau, zunächst Hintergründe und theoretische Grundlagen zu erörtern, verwandte Arbeiten zu zeigen und anschließend neuartige Erweiterungen und Ansätze vorzustellen.

Kapitel 2 beschäftigt sich mit Grundbegriffen und Hintergründen an denen die Arbeit grundsätzlich ansetzt. Neben der verwendeten Interpretation des Gestaltungsbegriffs, wird das Feld des „Persuasive Computings“ als Eingliederungsbereich beschrieben, sowie kreative Prozesse in der Informatik-Praxis identifiziert.

Kapitel 3 beschreibt die bisher in der Informatik dominierenden *sachlichen* (d.h. messdatennahen) Darstellungsformen zur Datenvisualisierung. Nach der Diskussion bereits etablierter Ansätze und Vorgehen werden die zwei neuartigen Visualisierungskonzepte „TimePie“ und „TimeStack“ vorgestellt. Mit Hilfe einer durch Blickaufzeichnung unterstützten Studie werden die unterschiedlichen Eigenschaften dieser mehrdimensionalen Diagrammtypen diskutiert.

Kapitel 4 leitet zum konträren Ansatz der *ästhetisch* motivierten Gestaltung über. Hierbei spielt weniger die rationale Effizienz als vielmehr die erzählerische Eigenschaft eine Rolle, die sich wiederum für emotional ansprechende Inszenierungen eignet. Da verwandte Konzepte in der Filmgestaltung zu finden sind, wird die Übertragung derer theoretischen Grundlagen auf die Ausrichtung virtueller 3D-Szenen beschrieben. Um eine konsistente Darstellung in den hochdynamischen interaktiven Medien zu ermöglichen, wird ein Ansatz zu adaptiver Formgebung in Theorie und praktischer Implementierung vorgestellt und diskutiert.

Kapitel 5 transferiert den Ansatz der dynamischen grafischen Expressivität aus dem Bereich des interaktiven Dramas in das Alltagsszenario des Energiesparens. Durch die Anbindung der entwickelten Visualisierung der Verbrauchsdaten in Form eines adaptiven virtuellen Gartens wird gezeigt, wie ästhetische Darstellungsformen Aussagen zur Bewertung des eigenen Verhaltens transportieren können. Das Kapitel befasst sich zudem mit technischen Aspekten der Umsetzung sowie persuasiven Faktoren.

Kapitel 6 blickt auf Erweiterungsmöglichkeiten, die die Wirksamkeit der vorgestellten Ansätze verstärken. Konzepte der Spielifizierung (Gamification) eignen sich dazu, um konkurrierende wie auch kollaborative Effekte einzusetzen, um die Anwendermotivation zu erhöhen. Virtuelle Agenten lassen sich einsetzen, um durch deren personifizierende Eigenschaften eine starke emotionale Bindung zu generieren. Für beide Fällen

diskutiert das Kapitel Hintergründe, Ansätze und Einflussfaktoren. Schließlich wird der Satz virtueller Charaktere des *DYNALearn*-Projekts vorgestellt, das in der Lernsoftware, aber auch anderen Projekten zur Realisierung expressiver Agenten verwendet werden kann.

Kapitel 7 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse ab und skizziert zukünftige Anknüpfungspunkte.

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit, insbesondere der Kapitel 3, 4, 5 und 6, wurden gemäß den üblichen Promotionsstandards in anderer Form, Sprache, Kontext und/oder Formulierung bereits vorab veröffentlicht. Eine Liste mit Publikationen des Autors findet sich in Anhang 10.3.1.

2. Theoretischer Hintergrund

Im Folgenden wird die Arbeit durch Klärung der verwendeten Begriffe und Interpretationen in Kontext gesetzt. Neben der Einordnung im Bereich der Rechnerüberzeugung (Persuasive Computing) grenzt das Kapitel den Gestaltungsbegriff ein und nimmt Bezug auf dessen Rolle in der Multimedia-Informatik. Dadurch wird der gedankliche Ansatz vorgestellt, der den folgenden Kapiteln zugrunde liegt.

2.1 Zum Begriff der Persuasion

Der Begriff *Persuasion* steht für eine Form der „Überzeugung“ des Anwenders. Während in kommerziellen Projekten, etwa im Bereich Werbung und Marketing, nonverbale Kommunikation bis hin zur Manipulation ausgeweitet wird, ist mit diesem Begriff das unterschwellige „Zu einem Ziel führen“ gemeint. Vor allem im Bedeutungsspektrum des „*Persuasive Computing*“ soll durch intuitive Präsentationen eine implizite Nutzerführung erreicht werden, bei der der Anwender zwar überzeugt, aber nicht überredet, bevormundet oder gezwungen wird (Reinhart, 2012). Nach Fogg lässt sich dabei die Absicht unterscheiden, die der Überzeugung durch persuasive Technologie zugrunde liegt (Fogg, 1998):

- **Endogene Absichten („Endogenous Intent“)** stammen aus der Produktkonzeption selbst und werden z.B. vom Softwarehersteller formuliert. Eine Lernsoftware kann etwa das Ziel haben, Kinder für gesundes Essen zu begeistern.
- **Exogene Absichten („Exogenous Intent“)** beziehen sich auf diejenigen, die den Zugang zum Produkt herstellt, wie z.B. eine Mutter, die ihrem Kind ein Smartphone gibt, damit es lernt, seinen Tagesablauf zu organisieren.
- **Autogene Absichten („Autogenous Intent“)** kommen vom Anwender selbst, zum Beispiel jemandem, der eine Fitness-Software nutzt, weil er damit seine körperliche Verfassung verbessern möchte.

In Zusammenspiel mit dem „*Ambient Computing*“, der Systemintegration in den vorhandenen Lebensraum, lassen sich Informationen in den Alltag integrieren und dem Anwender intuitiv näher bringen. Ein Beispiel hierfür findet sich im Anwendungsgebiet des Energiesparens. Indem Rückmeldungen über den Energieverbrauch in Alltagsgegenständen integriert werden, lässt sich der normalerweise unsichtbare Konsum für den Anwender wahrnehmbar machen. Zusammen mit der Aufklärung über Hin-

tergründe wie z.B. den Ressourcenbedarf und die Umweltauswirkungen der Energieerzeugung, können ein höheres Energiebewusstsein und idealerweise sogar Verhaltensänderungen bewirkt werden. Dabei spielt die Gestaltung eine wichtige Rolle, da sie als primär wahrgenommenes Element dafür zuständig ist, die Aufmerksamkeit und emotionale Bindung des Anwenders zu beeinflussen.

2.2 Begriffliche Eingrenzung von „Gestaltung“

Das Leitmotiv dieser Arbeit ist das *Zusammenspiel von Informatik und Gestaltung*. Der Begriff „Gestaltung“ bedarf zunächst einer Definition, da die Interpretation stark vom Gesprächskontext, dem Fachgebiet und den Vorkenntnissen des Dialogpartners abhängig ist. Gerade in der Informatik wird die Gestaltung – vor allem in ihrer englischen Entsprechung „Design“ – oft synonym zu „Konstruktionsprinzip“, „Architektur“ oder „Struktur“ verwendet, die sich beinahe schon als Gegenteil zur ästhetisch-künstlerischen Auslegung sehen lässt.

Im nachfolgenden Sprachgebrauch kommt „Gestaltung“ grundsätzlich im Sinne der bildenden Kunst zum Einsatz. Dabei nimmt ein „Gestalter“, also eine konzipierende und realisierende Person, unter Berücksichtigung ästhetisch und funktional motivierter Ziele, Einwirkung auf die äußere Form eines Produkts. Es spielt dabei zunächst keine Rolle, ob es sich um eine Programmoberfläche, Filme, Fotos, Zeichnungen oder eine künstlerische Skulptur handelt, da sich der entscheidende gemeinsame Nenner im Menschen findet, der mit dem Werk „in Kommunikation tritt“. Die Gestaltung nimmt dabei die Rolle eines Transportmediums zwischen Inhalt und Konsument ein, weshalb die hier verwendete Interpretation des Gestaltungsbegriffs für die Vermittlung von Werbebotschaften ebenso wie das Erzählen einer Filmhandlung oder das Kommunizieren von Systemvorgängen gültig ist.

Während dieser Ansatz prinzipiell auch auf weitere Einsatzgebiete wie akustische und haptische Kanäle anwendbar ist, beschränkt sich das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit auf visuelle, grafische Gestaltung.

2.3 Abstufungen von Gestaltungsgraden

Ein vollständiges Fehlen von (grafischer) Gestaltung ist insofern nicht möglich, als dass selbst ein reiner Textabdruck zwangsläufig einen visuellen Eindruck vermittelt und daher eine *Gestalt* aufweist. Um trotzdem einen Handlungsspielraum benennen zu können, stellt die in Abb. 1 dargestellte Skala eine maximal funktionale, textuelle Präsentation der künstlerisch-ästhetischen Charakteristik gegenüber. Durch die Darstellung als reines Textfragment werden Informationen im links angeordneten Extrem direkt und sachlich aufgelistet, wodurch gerade faktische Informationen unmissverständlich erscheinen. Der Leseaufwand ist allerdings höher, da der Text immer komplett gelesen, gedanklich verarbeitet und ausgewertet werden muss. Dem gegenüber steht der Ansatz, rein ästhetische Kriterien in den Vordergrund zu stellen. In seiner konsequentesten Form soll ästhetische Kunst ausdrücklich keinem äußeren Zweck dienen und zieht ihre Existenzberechtigung aus sich selbst, was im Motto „Kunst um der Kunst Willen“ (lat. „Ars gratia artis“) zum Ausdruck kommt (Ullrich, 2005 S. 124 ff.; Henri, 1923/2007). Als Ästhetik beschreiben Thielsch et al. ein „unmittelbar eintretendes, positiv bewertetes, auf ein Objekt bezogenes Erlebnis“ (Thielsch, et al., 2011)⁵. Utilitaristische Emotionen werden durch Ereignisse ausgelöst, die mit einem unmittelbaren Handlungsbedarf einhergehen, z.B. Ekel, Angst, Freude, usw. Scherer grenzt *ästhetische Emotionen* davon durch die fehlende oder zumindest erheblich unbedeutendere Verbindung zur Funktionalität für Wohlbefinden und Überleben ab. Ästhetische Emotionen entstehen demnach aus den intrinsischen Qualitäten der Schönheit von Natur oder Kunst und umfassen beispielsweise Gefühle der Begeisterung, Ekstase, Faszination und anderen. (Scherer, 2005)

Im Tätigkeitsfeld der Multimedia-Informatiker liegen in der Regel Projekte vor, in denen die zu kommunizierenden Inhalte auf ein Ziel ausgerichtet sind. Ein solches Ziel kann, ganz allgemein gesprochen, eine Vermittlung von Informationen zwischen System und Anwender sein. Gestaltungskriterien wie die von Rams (Klemp, et al., 2009) zeigen, dass gutes Design, nicht nur ästhetisch, sondern auch funktional ist. Es gilt daher im Spektrum von Text- und Bildanteil einen guten Mittelwert zu finden, der eine Balance zwischen dem positiven Erleben der Ästhetik und der Kommunikationseffizienz faktischer Informationen herstellt. Lesbarkeit und Verständlichkeit des Produkts lassen sich so insgesamt verbessern.

⁵ u.a. Bezugnehmend auf die Arbeiten von (Leder, et al., 2004) zur Psychologie von Ästhetik.

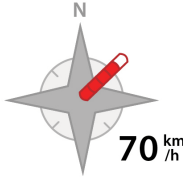

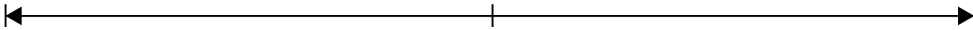
Beispiel:	Stürmischer Wind Geschwindigkeit: 70km/h Richtung: Nord-Ost		
Struktur:	Text	Text und Bild	Bild
Charakter:	funktional	funktional & ästhetisch	ästhetisch
Motto:	»Form follows function«	»So wenig wie möglich, so viel wie nötig«	»Ars Gratia Artis«
Gewichtung:			

Abb. 1: Informationen lassen sich sachlich/funktional oder ästhetisch/emotional visualisieren. Die hier gezeigte Skala stellt diese Extreme gegenüber und veranschaulicht die Gewichtungsmöglichkeiten dazwischen. [Malerei: Mm5962 2009]

Das gezeigte Beispiel (Abb. 1) hat die Darstellung von Windkraft zum Ziel, wie sie für eine Wetterdatenanwendung zum Einsatz kommen kann. Die Darstellungsmöglichkeiten reichen von sachlichem Text bis hin zu expressiver Kunst. Der Mittelweg kann hier z.B. in Form der Darstellung einer Windrose liegen. Sie stellt einen visuellen Bezug zum Thema „Wind“ her, der zudem die intuitive Wiedererkennbarkeit und Identifikation verstärkt. Die grafischen Komponenten wirken hier als Informationsträger, statt bloßes dekoratives Ornament zu sein. So zeigt der Winkel der Kompassnadel die Windrichtung grafisch an, während sich der zur Subjektivität tendierende Stärkebegriff („stürmischer Wind“) in einem symbolischen Pegelausschlag auf der Nadel wiederfindet. In diesem Beispiel handelt es sich nicht um eine Datenvisualisierung im herkömmlichen Sinn, wie sie von Datengraphen bekannt und offensichtlich ist, sondern um eine Form von Visualisierung, die aus einer ästhetischen Motivation heraus entsteht. Trotzdem dürfen, getreu dem Sprichwort „So viel [Gestaltung] wie nötig, so wenig [Gestaltung] wie möglich“, Daten auch explizit in der Grafik auftauchen. Im Beispiel stellt die gemessene Windgeschwindigkeit eine für den Anwender relevante Nutzinformation dar, deren Lesbarkeit durch eine erzwungene Verbildlichung erschwert werden würde. Sie wurde stattdessen als schlichter Textbaustein in die Grafik integriert. Textdarstellungen eignen sich besonders gut für derartige Nutzinformationen, da sie sich als solche in der abstrakten Textdarstellung direkt ablesen lassen. Ändert sich der Anwendungsfall, muss jedoch eine Neubewertung der Umsetzungsmethode stattfinden: Sollen z.B. mehrere Zahlen verglichen werden, ließe sich die Aussagekraft durch Visualisierung potentiell verstärken.

Edward Tufte hat in seiner Arbeit über die grafische Darstellung quantitativer Informationen einige Prinzipien „grafischer Exzellenz“ aufgestellt. Darin heißt es unter anderem, dass sie sich in dem fände, was *dem Betrachter die größte Anzahl von Ideen in kürzester Zeit mit minimalem Tintenverbrauch auf kleinstem Raum vermittele* (Tufte, 2011 S. 51). Er knüpft damit ebenfalls an die vorgestellten Prinzipien von Minimalismus, Effizienz und Klarheit an. Dekorative Ornamentik lässt er als *redaktionelles Hilfsmittel* zu, sofern sie *die Daten nicht verfälscht*. Dieser Grundsatz bezieht sich hauptsächlich auf Datenvisualisierung, z.B. in Form von Graphen und Mengendarstellung. Der Anspruch eines extremen Minimalismus, der sich sogar im Tintenverbrauch messen lässt, kann nicht vollständig auf die künstlerische, um einen ästhetischen Eindruck bemühte Motivation übernommen werden. Das trifft vor allem dann zu, wenn die Gestaltung über eine erzählerische Dimension verfügt und damit zusätzliche Informationen transportiert, wie Tufte selbst einräumt⁶.

Ziel guter Gestaltung im Informatik-Kontext sollte sein, ein ausgewogenes, auf den individuellen Anwendungskontext angepasstes Verhältnis zwischen Funktion und Ästhetik zu finden. Es muss für jeden Anwendungsfall abgewogen werden, ob Bilder helfen, die zu kommunizierende Aussage zu verdeutlichen oder ob die Gestaltung die Lesbarkeit erschwert, so dass eine Textdarstellung zu bevorzugen ist.

2.4 Der kreative Prozess in der Informatik

Der Gewichtung des ästhetischen Gestaltungsanteils steht eine zweite gestalterische Dimension gegenüber, die sich auf den dargestellten Inhalt, d.h. die Bildsprache an sich, bezieht. Hinsichtlich der Verwendung von Metaphern geht man in der *Usability*-Forschung davon aus, dass Versinnbildlichungen in gesundem Maß das Systemverständnis fördern. Im Folgenden soll betrachtet werden, wie sich Informatiker an Entscheidungen zu inhaltlicher Symbolik annähern können, um visuelle Kommunikation für ihr Produkt zu nutzen.

Zunächst scheinen die technischen Aufgaben eines Informatikers nicht viel mit den oft augenscheinlich intuitiven Aufgaben eines Gestalters zu tun zu haben. Gary Greenberg stellte in seiner Betrachtung zur Übertragung kreativer Prozesse auf das Erlernen und Anwenden von Programmiersprachen fest, dass kreative Aktivitäten eine *symbolische*

⁶ Siehe auch Tuftes „Attractive Display“-Kriterien, S. 28

Natur aufweisen, während gängige Programmiersprachen⁷ eine Auseinandersetzung mit Zahlen und Werten verlangen. So würden Künstler beispielsweise bei der Platzierung von Elementen in Relationen denken („platziere über“ oder „neben“) und nicht in mathematischen Funktionen zum Einfärben koordinatenbasierter Pixel (Greenberg, 1991). Für das Ziel künstlerisches Denken in die Informatik zu integrieren, heißt das im Umkehrschluss, dass ein Perspektivenwechsel vom technischen, abstrahierenden, hin zum symbolischen Denken nötig ist.

Bei näherer Betrachtung beider Welten finden sich aber auch Gemeinsamkeiten in den mentalen Grundprozessen, die eine Annäherung unterstützen:

- **Zu einem Ziel soll eine Problemlösung gefunden werden.** Die Ausgangssituation besteht in beiden Fällen aus der Herausforderung, gegebene Ideen oder Projektanforderungen zu verarbeiten, umzusetzen und einem Zielpublikum zugänglich zu machen.
- **Die Lösungsfindung erfordert kreatives Denken.** Sowohl der Künstler als auch der Informatiker muss durch kreatives Denken, Lösungen für die Problemstellung finden. Dabei werden zwei Phasen durchlaufen: Zuerst muss das Problem verstanden werden, im zweiten Schritt lässt sich die gefundene Lösung umsetzen. (Verborgh, 2013)
- **Der Kontext und die Zielgruppe sind zu berücksichtigen.** Werden beispielsweise Vorkenntnisse des Zuschauers bzw. Anwenders berücksichtigt, so lässt sich dieses Vorwissen nutzen, um die Tiefe der visuellen Erzählung zu steigern oder die Effektivität von Software zu optimieren.
- **Das Projekt wird handwerklich umgesetzt.** Schließlich nutzen sowohl Künstler als auch Informatiker ihr Talent und Fachwissen, um die ursprüngliche Idee in eine konkrete Form umzusetzen. Dabei fließt eine persönliche Note, quasi die Handschrift des Autors, zwangsläufig in Form von Strichführung bzw. Programmierstil mit ein.

Beide Fachgebiete ähneln sich also in ihren geistigen Schaffensprozessen. Da Informatiker üblicherweise nicht um der reinen Schönheit willen arbeiten, schlägt Verborgh als Abgrenzung der Informatiker von reinen Künstlern den Begriff des „Functional Artists“, also eines funktionsorientierten Gestalters, vor (Verborgh, 2013).

⁷ In Greenbergs Betrachtung: LOGO

Eine Vielzahl der sogenannten Kreativtechniken, d.h. methodische Muster zur Generierung innovativer Ideen, lassen sich interdisziplinär einsetzen und sind keineswegs auf künstlerische Anwendungsfelder beschränkt. So finden sich derartige Verfahren häufig in Schulungen und Workshop-Unterlagen, die sich ganz allgemein auf die Durchführung von Arbeitsgruppen beziehen. Ein prominentes Beispiel ist etwa die Sechs-Hüte-Methode von Edward de Bono, bei der das zu bearbeitende Thema mittels des imaginären Aufsetzens thematisch zugeordneter Hüte aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet wird, um dadurch konventionelle Denkmuster zu verlassen (Bono, 2000). Ähnliche Ansätze finden sich bei Techniken wie der visuellen Provokation (Eberle, 2005), die Ideen durch Kombinieren zufällig gewählter grafischer Impulse anregt, oder Alex Osborns populären Fragenkatalogen zur kritischen Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung (Osborn, 1993).

2.5 Kapitelzusammenfassung

Dieses Kapitel stellt die theoretischen Grundlagen und begrifflichen Auffassungen dieser Arbeit vor. Wenn von „Gestaltung“ die Rede ist, ist hier die ästhetisch-künstlerische Visualisierung gemeint, der ästhetische und funktionale Absichten zugrunde liegen. Diese Ziele wiederum wirken auf den Anwender, was eine Nähe zum Themenbereich „Persuasive Computing“ darstellt, der sich mit der unterschweligen Unterstützung des Erreichens persönlicher Ziele beschäftigt. Weil sich die Gewichtung von textueller und grafischer Gestaltung je nach darzustellender Information unterschiedlich gut eignet, müssen Entwickler eine anwendungsfallabhängige Balance zwischen ästhetischer und sachlicher Darstellung finden. Ein Ziel guter Gestaltung in der Informatik liegt daher im Finden des richtigen Verhältnisses von Funktion und Ästhetik. Neben der grundsätzlichen Festlegung des Gestaltungsanteils müssen sich Designer mit der erzählerischen Gestaltungsdimension auseinandersetzen, zumal insbesondere ästhetische Darstellungen inhaltliche Aussagen transportieren.

3. Sachlich motivierte Visualisierungswerkzeuge: TimePie und TimeStack

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit sachlich motivierter Gestaltung, dem bisher in der Informatik dominierenden Visualisierungskonzept. Anhand zweier konkreter Beispiele werden die Grundprinzipien, Möglichkeiten und Grenzen dieser Herangehensweise erläutert, was den Grundstein für die in Kapitel 5.6 diskutierte Gegenüberstellung von sachlicher und ästhetischer Gestaltung legt.

3.1 Theoretischer Hintergrund

Grafik und Visualisierung ist kein völlig neues Feld der Informatik. Mehrere Spezialisierungsrichtungen beschäftigen sich mit dem Erzeugen von grafischen Ausgaben, Erscheinungsbildern und letztlich immer auch deren Rolle in der Mensch-Maschine-Kommunikation. In ihrer technischsten Form befasst sich „Grafik“ in der Informatik mit Datenvisualisierungen, also zumeist algorithmisch erzeugten grafischen Repräsentationen von numerischen Größen und der Veranschaulichung von Relationen innerhalb dieser Datenmengen. Im Gegensatz zur *ästhetisch motivierten* Gestaltung findet hierbei häufig eine möglichst starke Reduzierung auf die sachlichen Daten statt, weshalb man diese Grafikform auch *sachlich motiviert* nennen könnte. Innerhalb des Gebiets der grafischen Aufbereitung von Daten ist dennoch wiederum die Frage ausschlaggebend, was mit der Darstellung erreicht werden soll. Nach Bigelow et al. strebt die heutzutage populäre „Infografik“ das Erzählen einer Geschichte oder Idee an (Bigelow, et al., 2014), wodurch sich diese meist unter ästhetischen Gesichtspunkten ausgerichtete Darstellung von der „Visualisierung“ unterscheidet, die als Hilfsmittel zur Datenexploration dient. Die genannten Grundprinzipien für „gute Gestaltung“ im Sinne visueller Kommunikation kommen auch hier zum Tragen. Tufte benennt zudem einige Richtlinien, die speziell auf die Steigerung der Visualisierungsattraktivität von statistischen Informationen ausgelegt sind.

Richtlinien für attraktive Darstellungen statistischer Informationen (Tufte, 2011):

1. Format und Design müssen sorgfältig gewählt werden.
2. Worte, Zahlen und Zeichnungen treten zusammen auf.
3. Balance, Proportionen und die Bedeutung von Maßstäben werden ersichtlich.
4. Der gewählte Detailgrad richtet sich nach der Verständlichkeit.
5. Eine narrative Qualität ist oft vorhanden, um die Geschichte zu den Daten zu erzählen.
6. Die Ausführung sollte professionell und technisch präzise sein.
7. Auf Dekorationen ohne Inhaltsbezug wird verzichtet.

Besonders interessant sind die Punkte 5 und 7, bei denen Tufte bereits an die Idee der *ästhetischen Motivation* anstößt. Nach seinen Richtlinien sind dekorative Elemente dann erlaubt, wenn sie eine erzählerische Eigenschaft besitzen und einen Bezug zum Inhalt aufweisen, d.h. wenn sie einen Informationsmehrwert besitzen.

Quantitätsdarstellungen basieren nach Tufte allgemein auf dem Einsatz von drei Kernelementen: **Etiketten** (z.B. Achsenbeschriftungen), **Kodierungen** (z.B. Farbskalen) und selbsterklärende **Vergleichsgrößen** (z.B. Objekte bekannter Größe oder Referenzobjekte) (Tufte, 2006).

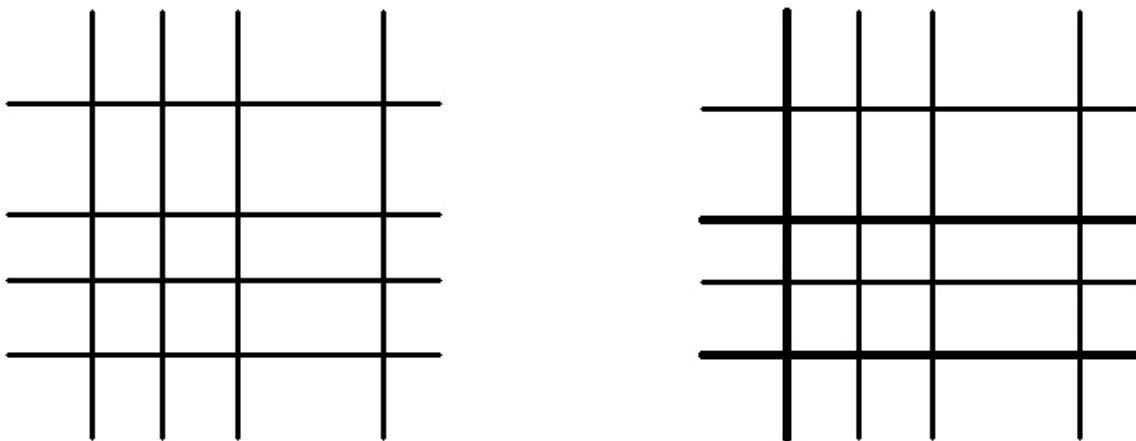


Abb. 2: Beispiele für die Bedeutung von Kontrasten und Variation. Die Komposition rechts wirkt durch unterschiedliche Linienstärken dynamischer, spannender und auch überschaubarer als die Alternative (links) mit gleichstarken Linien. [frei nach (Tufte, 2011)]

Ein essentielles Mittel, um Spannungsfelder zu erzeugen, die die visuelle Attraktivität und Lesbarkeit steigern, sind **Kontraste**. Abb. 2 veranschaulicht, wie stark sich der visuelle Eindruck allein durch konträre Linienstärken beeinflussen lässt. Kontraste sind Unterbrechungen in Mustern, die Elemente voneinander abgrenzen und priorisieren. Das menschliche Gehirn ist auf das Finden solcher Brüche spezialisiert, um Wertigkeit und Nutzen des Wahrgenommenen einschätzen zu können (Walter, 2011). Dieses Grundprinzip spiegelt sich auch in den *Grundbausteinen für die grafische Formgebung* wieder, wie sie von Bancroft benannt werden (Bancroft, 2006). Danach bilden **Form und Größe, sowie deren Varianz** das Grundgerüst für die grafische Erscheinung. Varianz meint dabei Abweichungen innerhalb des Sichtbaren, so dass diese Veränderungen effektiv Kontraste bilden. Zusammen mit grafischen Vereinfachungen⁸, die zum Beispiel aus dem Einsatz von Grundformen für die Konstruktion der Gesamterscheinung entstehen, könne demnach das Grundverständnis der visuellen Erzählung verbessert werden. Es lassen sich zwei Arten der Kontrastwahrnehmung unterscheiden: Der *visuelle Kontrast* bezieht sich auf die Erfassung grafischer Differenzen, etwa in Form und Farbe. Unterschiede in Erfahrungen oder Erinnerungen bilden dagegen einen *kognitiven Kontrast* (Walter, 2011). Dieser beschreibt die Auswirkung gegenübergestellter Elemente auf deren Bewertung. Ein bekanntes Beispiel für diesen Effekt stellt die in Abb. 3 zu sehende „Titchener-Illusion“ (auch „Ebbinghaus-Illusion“) dar, bei der zwei faktisch gleich große Kreise abhängig von den umgebenden Elementen als unterschiedlich groß wahrgenommen werden (Aglioti, et al., 1995; Plous, 1993).

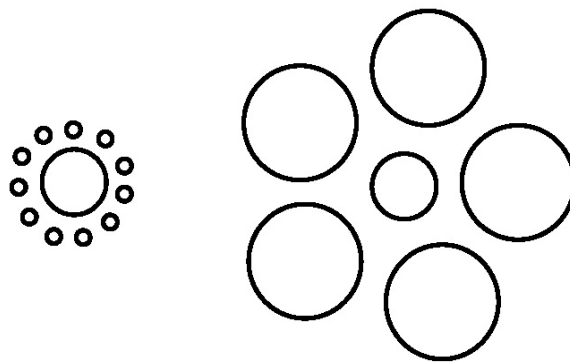


Abb. 3: Die Titchener/Ebbinghaus-Illusion. Obwohl die Kreise im Mittelpunkt der beiden Gruppen physisch gleich groß sind, wird der Kreis, der von kleinen Kreisen umgeben ist, typischerweise als größer wahrgenommen. Der Kontrast zwischen den Elementen beeinflusst hier die Wahrnehmung. [nach (Aglioti, et al., 1995 S. 680)]

⁸ im Sinne der Konzentration auf das Wesentliche

In der Informatik spielen Kontraste und Vergleiche an verschiedenen Stellen eine Rolle. Walter zeigt am Beispiel von *TUMBLR*, wie Online-Portale durch die Reduzierung von Inhalten dafür sorgen, dass Nutzer zielgerichteter agieren, zumal sie nicht abgelenkt werden und die zur Wahl stehenden Aktionen leicht erkennbar sind (Walter, 2011). Abb. 4 skizziert den Aufbau der *TUMBLR*-Registrierungsseite, der sich durch Einfachheit und Informationsreduzierung auszeichnet.

The image is a screenshot of the Tumblr registration page. It features a clean, minimalist layout. At the top right is a search bar labeled 'Tumblr Suche'. In the center, the 'tumblr.' logo is prominently displayed in a bold, lowercase font. Below the logo is the tagline 'Folge den Blogs, über die man spricht. Teile Dinge, die du liebst.' in a smaller font. Below the tagline is a registration form with three input fields: 'E-Mail', 'Passwort', and 'Username'. A 'Registrieren' button is positioned below these fields. At the bottom left is an 'Einloggen' button. To the right of the login button are three statistics: '180,3 Millionen Blogs', '82,4 Milliarden Einträge', and '30 Sekunden, um dich zu registrieren'. At the bottom right, there is a link to 'Nutzungsbedingungen' and 'Datenschutz', and a 'Gepostet von' section with a small profile picture.

Statistik	Wert
Millionen Blogs	180,3
Milliarden Einträge	82,4
Sekunden, um dich zu registrieren	30

Abb. 4: Der Aufbau der *tumblr*-Registrierungsseite wurde minimalistisch gehalten, um die Bedienbarkeit durch den Kontrast in der Informationsdichte unterschiedlicher Bildbereiche zu verbessern. [Illustration, basierend auf einem Screenshot der Webseite]

Während sich bei der Entwicklung von Bedienbarkeitskonzepten, etwa im Webdesign, Kontraste einsetzen lassen, um die Wahrnehmung des Benutzers gezielt zu beeinflussen, muss im Bereich der Datenvisualisierung ganz im Gegenteil darauf geachtet werden, Aussagen nicht unbeabsichtigt durch die Vermischung von grafischer und inhaltlicher Variation zu verfälschen. Dieses Risiko tritt nach Tufte dann besonders stark auf, wenn zwei grafische Dimensionen (z.B. Höhe und Breite von Flächen) verändert werden, um eine eindimensionale Datenvariation zu visualisieren. Die nachfolgende Abb. 5 veranschaulicht diesen Effekt nach dem Prinzip des von Tufte gezeigten Beispiels einer Visualisierung aus der *WASHINGTON POST* (Tufte, 2011).

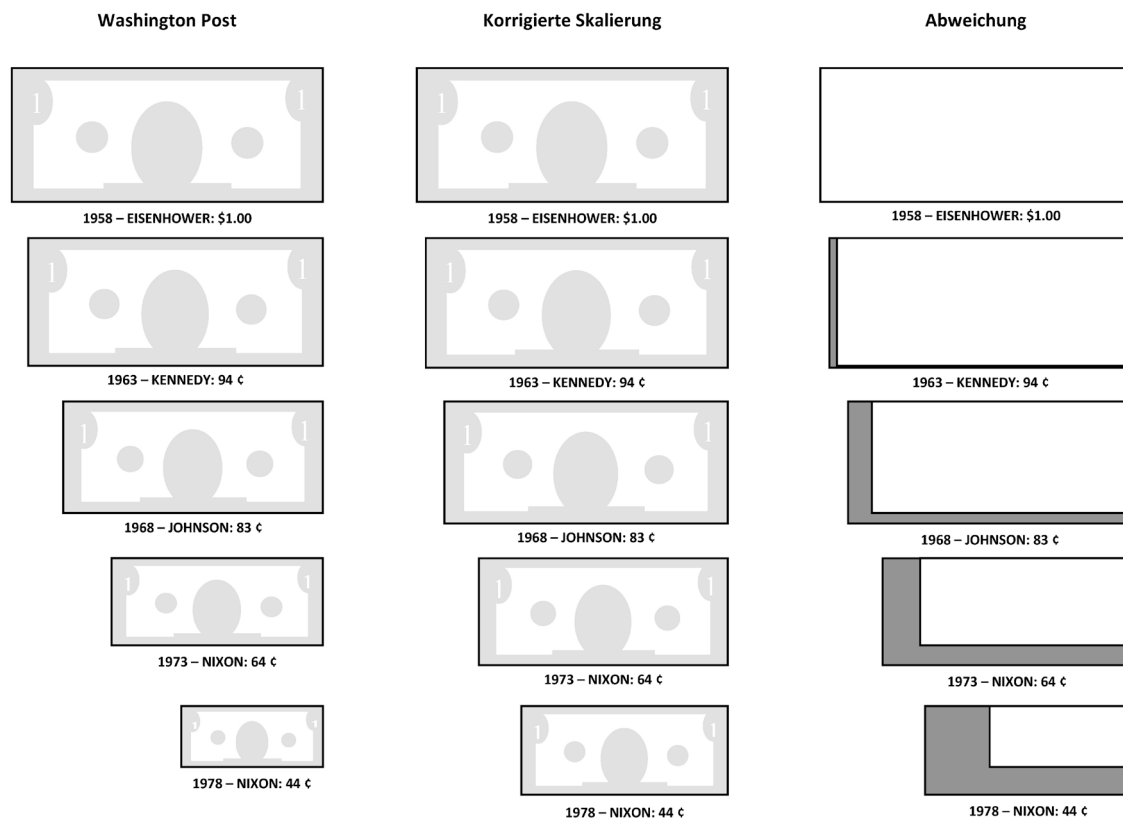


Abb. 5: Illustration des Kaufkraftverlustes des US-Dollars über mehrere Jahre hinweg. Links: Verfälschte Skalierung wie von der WASHINGTON POST abgedruckt [ohne Berücksichtigung von Verdeckungseffekten durch Dekorationen im Originalbild; nach (Tufte, 2011 S. 70)]. Der unterste Geldschein, der z.B. 44% des ursprünglichen Dollars repräsentiert, wurde viel zu klein dargestellt. Mitte: Korrigierte Skalierung bei der die Flächengröße aus den darzustellenden Werten errechnet wurde. Rechts: Überlagerung der beiden Größen zur Verdeutlichung der Abweichungen.

Verfälschung durch vermeintlich dekorative Mittel sind auch beim Einsatz von räumlichen Effekten in Diagrammen zu beobachten, in denen eine dritte Dimension eingeführt wird, die keinen Bezug zu den dargestellten Daten hat. Perspektivische Effekte skalieren die visualisierten Größen dann zusätzlich, so dass die Vergleichbarkeit verfälscht wird. Abb. 6 demonstriert die Auswirkung von Perspektive auf die Wahrnehmung der Größenverhältnisse in einem Kuchendiagramm. Bei diesem Diagrammtyp werden die Daten vor allem über die Winkel der Segmente definiert, die durch den 3D-Effekt Verzerrungen unterliegen, um den perspektivischen Eindruck zu erzeugen. Gleiches gilt für die Fläche, die sich aus dem Winkel und dem Kreisradius ergibt (Skau, 2012). Auf Perspektiven-Effekte sollte in Diagrammen verzichtet werden, da sie keinen Nutzen haben und der Visualisierung sogar schaden.



Abb. 6: Der Einsatz von Perspektive bewirkt eine Skalierung der Segmentstücke, was wiederum eine Verfälschung der Größenverhältnisse zur Folge hat. Abhängig von der Position im räumlichen Bild unterscheidet sich z.B. die Dominanz des grünen Teilstücks erheblich. [Bild: Stoll 2010]

Im Folgenden werden einige Visualisierungsmethoden vorgestellt, die das kreisförmige Grundprinzip der Kuchendiagramme aufgreifen und um innovative Ideen erweitern. Diese sind meist durch das Sichtbarmachen zusätzlicher Daten motiviert, so dass sich die Gestaltung auf einen tatsächlichen Informationsgewinn konzentriert.

3.2 Bestehende Ansätze

Viele Datenvisualisierungen haben das Vergleichen von Datengruppen oder das Zeigen von zeitlichen Entwicklungen zum Ziel. Das trifft im besonderen auf das Themenfeld des Energiesparens zu, wo der Stromverbrauch innerhalb eines bestimmten Zeitfensters oder im Vergleich zu ähnlichen Verbrauchern, wie benachbarten Haushalten, hilft, Konsumgrößen einzuschätzen und zu vergleichen.

Monigatti et al. stellen in diesem Zusammenhang zwei neuartige Kreisdiagrammtypen vor, die Energie-Daten sichtbar machen (Monigatti, et al., 2010). In ihrem „Predictive Pie“ erweitern sie ein klassisches Kuchendiagramm um eine Vorschaufunktion, die zum einen zeigt, wie viel Energie ein neues Gerät im Vergleich zu bisherigen Geräten verbrauchen *wird*. Dies geschieht über die Segmentgröße, die bereits für ein Gerät angezeigt wird, bevor es Teil des eigentlichen Verbrauchskreises ist. Der Anwender kann also im Vorfeld sehen, welchen Anteil eines verfügbaren Strombudgets die Nutzung des neuen Verbrauchers einnehmen würde. Da sich die Summe der Kreissegmente hier nicht dynamisch aus den Messzahlen ergibt, sondern immer einen statisch definierten zulässigen Maximalverbrauch repräsentiert, fungiert diese Verbrauchsvisualisierung wie ein grafisches Puzzle. Das sorgt wiederum dafür, dass sich andererseits auch Überlagerungen sichtbar machen lassen. Würde das neu

hinzuzuschaltende Gerät etwa mehr Strom verbrauchen als vom Gesamtbudget noch verfügbar ist, so könnte die Differenz als Überlagerung der Teilsegmente grafisch hervorgehoben werden (Abb. 7:A). Der Anwender erhält damit eine Entscheidungshilfe, welche anderen Geräte ausgeschaltet werden müssen, um Energie für das neue Gerät freizugeben.



Abb. 7: Visualisierungs-Prinzipien der vorgestellten Kreisdiagramm-Modifikationen. A: Vorschau-Kuchendiagramm (Monigatti, et al., 2010), B: Historische Uhr (Monigatti, et al., 2010), C: Flexibler Uhrzeiger (Monigatti, et al., 2011), D: Zwiebeldiagramm (Pratt, et al., 2006), E: Rundes Balkendiagramm (Valkanova, et al., 2013) [Zeichnung aus (André, et al., 2014)]

Während der „Predictive Pie“ den Vergleich von Mengen ermöglicht, ist Monigattis historische Uhr (Abb. 7:B) auf das Visualisieren von Daten über einen zeitlichen Verlauf hinweg ausgerichtet. Das Konzept berücksichtigt drei Parameter: den aktuellen Verbrauch, der sich in der Zeigerlänge ausdrückt, den Verbrauch der vergangenen Stunden, der sich aus der gezeichneten „Spur“ der Zeigerspitze ergibt, sowie den Tagesgesamtverbrauch, der durch die Größe des blauen Kreises in der Zifferblattmitte gezeigt wird (Monigatti, et al., 2010). In einer weiteren Arbeit (Monigatti, et al., 2011) stellen die Autoren einen ähnlichen Ansatz vor, in dessen Mittelpunkt eine Art Tachoscheibe steht (Abb. 7:C). Hier verändern die historischen Daten jedoch direkt die Form des Zeigers, dessen Winkel keine Zeit, sondern eine Position auf einer beliebigen Werteskala markiert. Die Pfeillinie wird damit zur Achse eines Liniendiagramms, das sich innerhalb eines radialen Diagramms befindet.

Herkömmliche Kuchendiagramme weisen nach Pratt und Duewer zwei grundsätzliche Probleme auf (Pratt, et al., 2006): Ist ein Segmentwert erheblich größer als die anderen, so schrumpfen diese auf eine sehr kleine Größe, was die Lesbarkeit deutlich erschwert. Zudem enthält die innere Fläche des Diagramms keine Information, die nicht auch schon durch den äußeren Bogen des Segments ausgedrückt werden würde. Um diesen verschwendeten Raum zu nutzen, schlagen sie eine Kombination aus mehreren Ringen vor. Abb. 7:D zeigt das resultierende Zwiebeldiagramm, das den verfügbaren Platz durch unterschiedliche Sichten auf die Daten in Form der einzelnen Ringe ausnutzt. Wie weit Anwender diese Diagrammform verstehen und einsetzen würden, wird von den Autoren nicht geklärt.

Auch Valkanova et al. nutzen den Radius einer kreisförmigen Anordnung als Achse, um zusätzliche Informationen zu kodieren (Valkanova, et al., 2013). In ihrer Kombination der Eigenschaften von Kreis- und Balkendiagrammen (Abb. 7:E) drückt die Segmentlänge Schwankungen entlang eines zeitlichen Verlaufs aus. Da sie in ihrem Anwendungsfall sowohl individuelle als auch gemeinschaftliche Daten zeigen wollen, codiert die Farbe zudem zusammengehörige Segmentgruppen, während das gesamte Diagramm die Verbrauchssumme darstellt. Anwender bekommen so die Möglichkeit, sowohl persönlich Messdaten in sich, sowie auch im Vergleich mit anderen Teilnehmern zu explorieren. In Studien konnte gezeigt werden, dass sich diese Vergleichsoptionen als Werkzeug eignen, das Anwender motiviert, sich mit dem Thema „Energiesparen“ auseinanderzusetzen. So zeigten sich einige Teilnehmer überrascht davon, dass ihr tatsächlicher Verbrauch niedriger lag, als im Vorfeld angenommen, während andere angaben, die Aufklärung durch das System zum Anlass nehmen zu wollen, ihren hohen Energiebedarf in Zukunft zu reduzieren.

3.3 Neuer Ansatz „TimePie“

TimePie ist ein bereits in (Masoodian, et al., 2013) vorgestellter Ansatz zur klassischen Datenvisualisierung, der durch die Kombination der Eigenschaften unterschiedlicher Diagrammtypen zu einem neuartigen Erscheinungsbild führt. Es kommen dabei eine Reihe von grafischen Parametern parallel zum Einsatz, um mehrdimensionale Informationen zu visualisieren und Vergleichbarkeit herzustellen. Sowohl zeitliche Abfolgen als auch Datengruppen können durch TimePie-Diagramme visualisiert werden. Abb. 8 zeigt das grundsätzliche Erscheinungsbild.

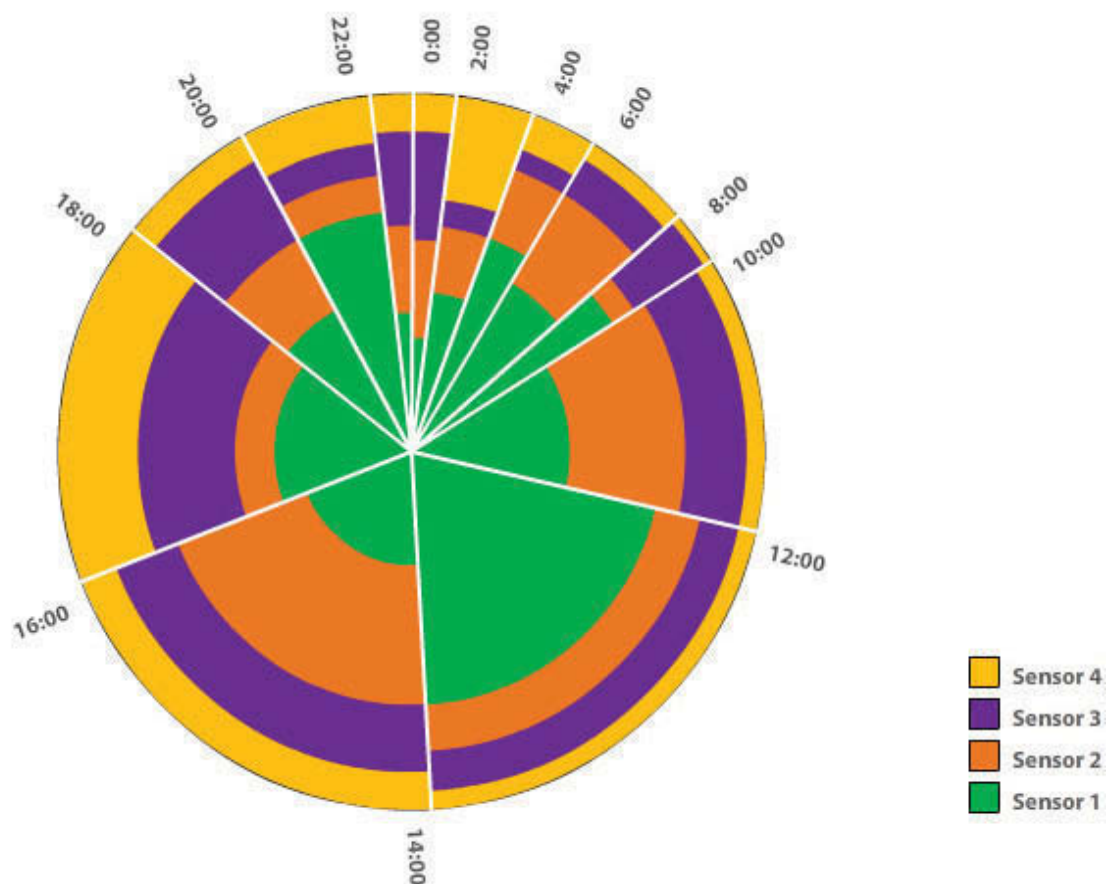


Abb. 8: Beispiel für das Visualisierungsprinzip TimePie. (Daten siehe Anhang 9.2)

Die Basis eines TimePies ist ein Kuchendiagramm, dessen Kreisfläche eine Gesamtmenge, wie z.B. den gemessenen Stromverbrauch innerhalb eines Zeitraums darstellt. Im Rahmen der Forschungsarbeiten rund um diese Visualisierungstechnik wurde das Zeitfenster zwar auf 24 Stunden festgelegt, doch ist auch eine beliebige andere Spanne denkbar. Diese müsste noch nicht einmal statisch sein, sondern könnte auch aus einer relativen Angabe, wie z.B. „den letzten n Stunden“ bestehen, so dass sich das Dia-

gramm an den Abfragezeitpunkt anpasst. Die einzelnen Segmente, die Tortenstücke, markieren folglich Zeitabschnitte innerhalb dieses gesamten Zeitkreises (Abb. 9).



Abb. 9: Der gesamte Kreis stellt einen Zeitraum von 24 Stunden dar. Die einzelnen Segmente decken einen Zeiteil ab (zu Illustrationszwecken hier auf zwei Abschnitte reduziert).

Durch die Zeitachse, die entlang des Kreisradius verläuft, entsteht eine Art Uhr, deren Besonderheit jedoch in der variablen Winkelbreite zu finden ist. Herkömmliche Zeitintervalle, sei es in Form von Zeitscheiben oder -strahlen, setzen ein statisches Intervall für die Achsenssegmentierung ein, das sich am festen Rhythmus der realen Zeit orientiert. Die Winkelgröße der TimePie-Segmente spiegelt jedoch die Verbrauchsdaten innerhalb des repräsentierten Zeitabschnitts wieder. Wurde zwischen 9:00 und 10:00 Uhr beispielsweise mehr Strom verbraucht als zwischen 14:00 und 15:00 Uhr, so stehen die Winkel in analogem Größenverhältnis zueinander. Dies erleichtert es dem Betrachter, den Stromverbrauch zwischen verschiedenen Zeitabschnitten zu vergleichen (Abb. 10).

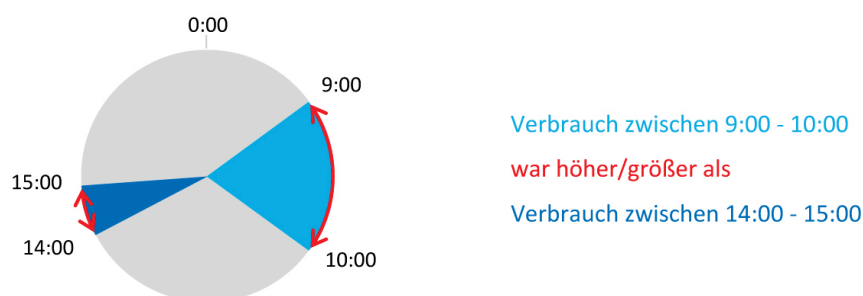


Abb. 10: Ein Unterschied zu herkömmlichen Zeitdarstellungen liegt in der variablen Segmentbreite, die sich nach den im jeweiligen Zeitraum erfassten Messgrößen (z.B. Energieverbrauch) richtet. Durch Vergleich der Winkelgrößen lassen sich somit Verbrauchsdaten zeitbasiert vergleichen.

Gerade im Beispiel des Energieverbrauchs kann nicht nur von Interesse sein, wie hoch der Gesamtverbrauch innerhalb eines Zeitabschnitts war, sondern auch, durch welche

einzelnen Komponenten der Bedarf entstand. Dies hilft dem Anwender einerseits überhaupt zu identifizieren, welche konkreten Geräte Strom verbrauchen und stellt andererseits die Grundlage für die Verhaltensänderung dar. Solange die virtuelle Größe eines Gesamtverbrauchs nicht auf tatsächliche Gegenstände im Einflussbereich des Anwenders abgebildet und damit entschlüsselt wird, kann bestenfalls geraten werden, welche Geräte anders geschaltet werden müssen, um den Verbrauch zu reduzieren. Da dies nicht sehr effizient, aber mühsam ist, sollte ein Visualisierungssystem statt dessen möglichst konkrete Hinweise auf Stellen geben, an denen der Anwender gezielt Änderungen bewirken kann. TimePie sieht zu diesem Zweck die Möglichkeit vor, jedes Segment wiederum in Teile des Ganzen zu untergliedern, wie in Abb. 11 illustriert.

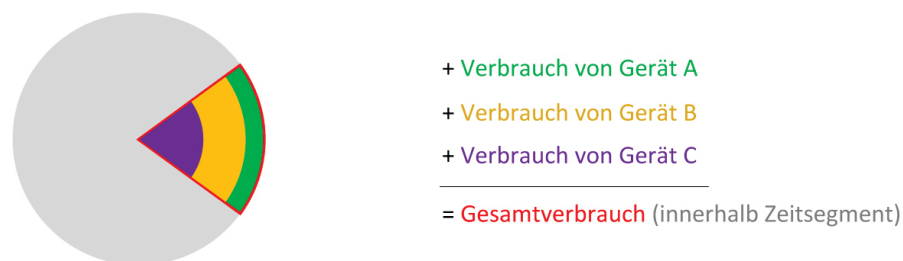


Abb. 11: Jede Segmentfläche wird unterteilt, um die Segmentdaten weiter aufzuschlüsseln. Dadurch lässt sich der Verbrauch innerhalb eines Zeitabschnitts auf die Datenquellen aufteilen, z.B. nach Gerätetyp oder Bürozimmer.

Der von Pratt und Duewer beschriebene Vorteil der besseren Raumausnutzung (Pratt, et al., 2006) trifft durch die Segmentgliederung auch für TimePie zu. Durch das keilförmige Zulaufen des Segments tendieren jedoch Ringe dazu kleiner zu wirken, je näher sie am Mittelpunkt liegen. Die Position des Rings hat also eine Auswirkung auf dessen subjektive Bewertung. Dieses Phänomen fällt besonders stark ins Gewicht, wenn die dahinterliegenden Daten lediglich durch den Radius ausgedrückt werden. Würde man ein Segment das in zwei Datenmengen zu je 50% aufgeteilt ist, so visualisieren, dass jeder Ring einen Radius von 50% des Gesamtradius einnimmt, so würde das innere Segment durch die Winkelform automatisch kleiner aussehen als das äußere, obwohl beide die selbe Größe vermitteln. Dieser Falschdarstellung kann entgegen gewirkt werden, in dem nicht der Radius, sondern die tatsächliche Fläche des Kreissegments berechnet wird, so dass ein Wert von 50% durch eine Fläche dargestellt wird, die tatsächlich 50% der gesamten Segment-Fläche einnimmt. Abb. 12 veranschaulicht die Auswirkungen der beiden Rechenwege durch Isolation einer einfachen 50%-Verteilung.

Keine der beiden Varianten erscheint vollkommen intuitiv. Die durch die Keilform entstehende Verzerrung bewirkt entweder, dass das Segment augenscheinlich zu klein ist oder dass, trotz sachlicher Richtigkeit, das innere Segment größer wirkt, weil es schwierig ist, das Segment gedanklich zu entzerren. Noch komplizierter wird es im tatsächlichen Praxis-Einsatz, bei dem nicht nur zwei, sondern mehrere Ringe auftauchen. Die Gegenüberstellung in Abb. 13 veranschaulicht, dass (in beiden Varianten) schwer zu erkennen ist, dass der grüne Segmentteil zwischen 12:00 und 14:00 die gleiche Datenmenge (50%) repräsentiert, wie die Summe der restlichen Ringe.

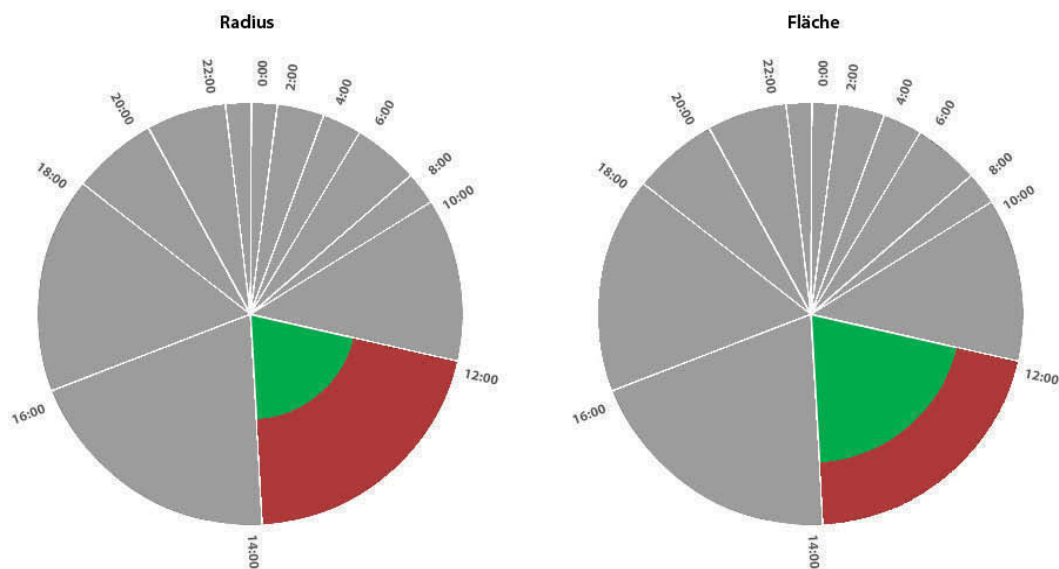


Abb. 12: Unterteilung eines Segments in zwei Abschnitte („Ringe“), von denen jeder 50% repräsentiert. Links: Die Größe des grünen Teils ergibt sich aus 50% des gesamten Radius. Verfälschungen entstehen dabei dadurch, dass die Position des Rings im Segment beeinflusst, wie groß ein Element erscheint. Rechts: Sachlich richtige Verteilung, bei der die grüne Fläche 50% der verfügbaren Fläche einnimmt. Die Position des Rings spielt dabei keine Rolle mehr, jedoch ist es trotzdem schwierig die Flächen subjektiv richtig einzuschätzen.

Werden mehrere TimePies eingesetzt, so lässt sich schließlich auch die Größe des gesamten Diagramms als weitere Dimension nutzen. Der Gesamtradius ermöglicht dabei, die vom jeweiligen TimePie gezeigten Größen gegenüberzustellen. Weil bei kleiner Skalierung Details schnell unleserlich werden, eignet sich dieser Ansatz in der Praxis nur bedingt. In der exemplarischen Implementierung des TimePies in Form einer *ANDROID*-App zur Visualisierung von Energiedaten wurde daher nicht der komplette TimePie, sondern eine vereinfachte Form des Kuchendiagramms eingesetzt, um den Gesamtverbrauch an unterschiedlichen Tagen zu zeigen. Dabei kommt nur noch ein Segment zum Einsatz, das den Verbrauch zu Tages- und Nachtzeiten unterscheidet (Abb. 14).

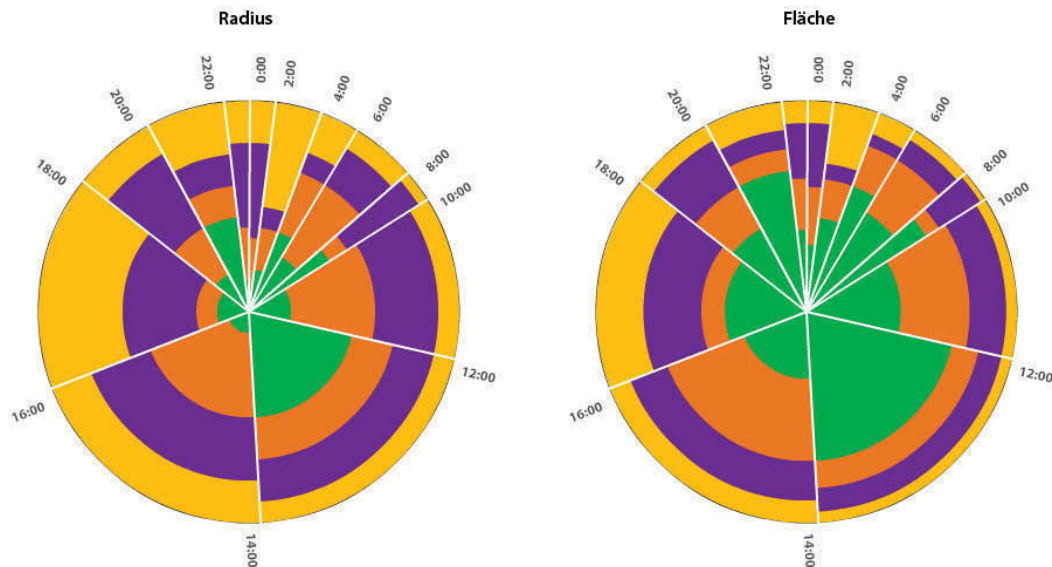


Abb. 13: In realen Szenarios untergliedern sich Segmente in viele Ringe. Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse beider Rechenansätze noch deutlicher. Für den Anwender wird es zudem schwieriger, zusammengefasste Bereiche zu vergleichen. So drückt der grüne Ring zwischen 12:00 und 14:00 die gleiche Datenmenge aus, wie die Summe der drei anderen Ringe in diesem Zeitraum. (Alle Daten siehe Anhang 9.2)

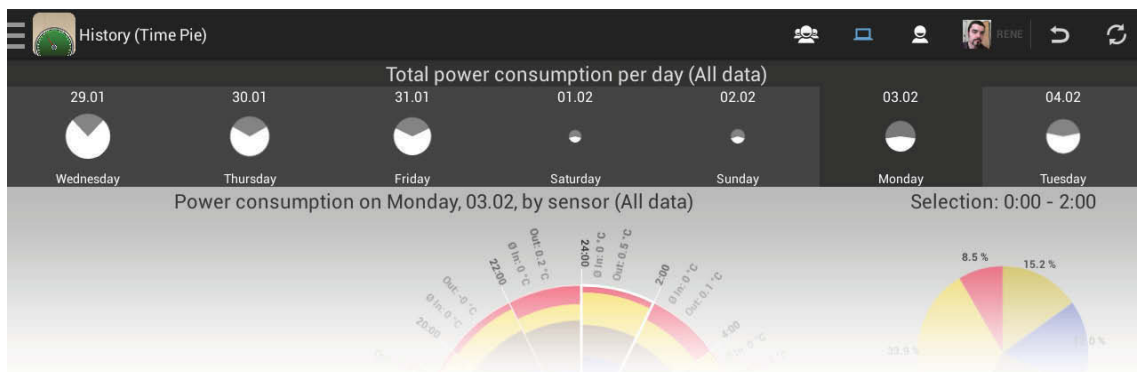


Abb. 14: Ausschnitt aus der Programmoberfläche einer prototypischen Umsetzung der Energievisualisierung für Android-Tablets. Im oberen Bildschirmbereich zeigt eine Serie von Kreisdiagrammen den Gesamtverbrauch an den Tagen der letzten Woche. Über die Skalierung der Radien werden diese Größen in grafische Relation gesetzt. Da die einzelnen Diagramme sehr klein sind, wird kein kompletter TimePie verwendet, sondern ein einfaches Kreisdiagramm. Lediglich zwei Kreissegmente dienen dazu, den aggregierten Verbrauch während der Tag- (weiß) und Nacht-Zeiten (dunkelgrau) zu unterscheiden. [Implementierung: Heimerl 2013]

Der Einsatz eines Visualisierungswerkzeugs wie TimePie ist nicht nur auf den gemessenen Stromverbrauch beschränkt. Um ein ganzheitliches Energiebewusstsein zu fördern, können vielmehr weitere Informationsquellen berücksichtigt werden. Ob der Betrieb eines PCs tatsächlich erforderlich ist oder ob sich diese Energie einsparen ließe, kann z.B. durch zusätzliche Anbindung eines Sensors, der die Präsenz eines Nutzers vor dem Monitor überwacht, eingeschätzt werden. Ebenso ist ein Abgleich von Raum- und Außentemperatur vorstellbar, um den Einsatz von Heizgeräten einzuschätzen. Abb. 15 zeigt, wie sich derartige Kontextinformationen entlang der Zeitsegmente in den TimePie integrieren lassen. Dabei sollte allerdings darauf geachtet werden, das Diagramm nicht zu überfrachten. In besonders kleinen Zeitfenstern fehlt zudem ggf. der Platz für die Darstellung derartiger Kontextinformationen. In diesem Fall kann Interaktionsunterstützung hilfreich sein, so dass Anwender z.B. Segmente auswählen und in einer separaten Vorschau untersuchen können.

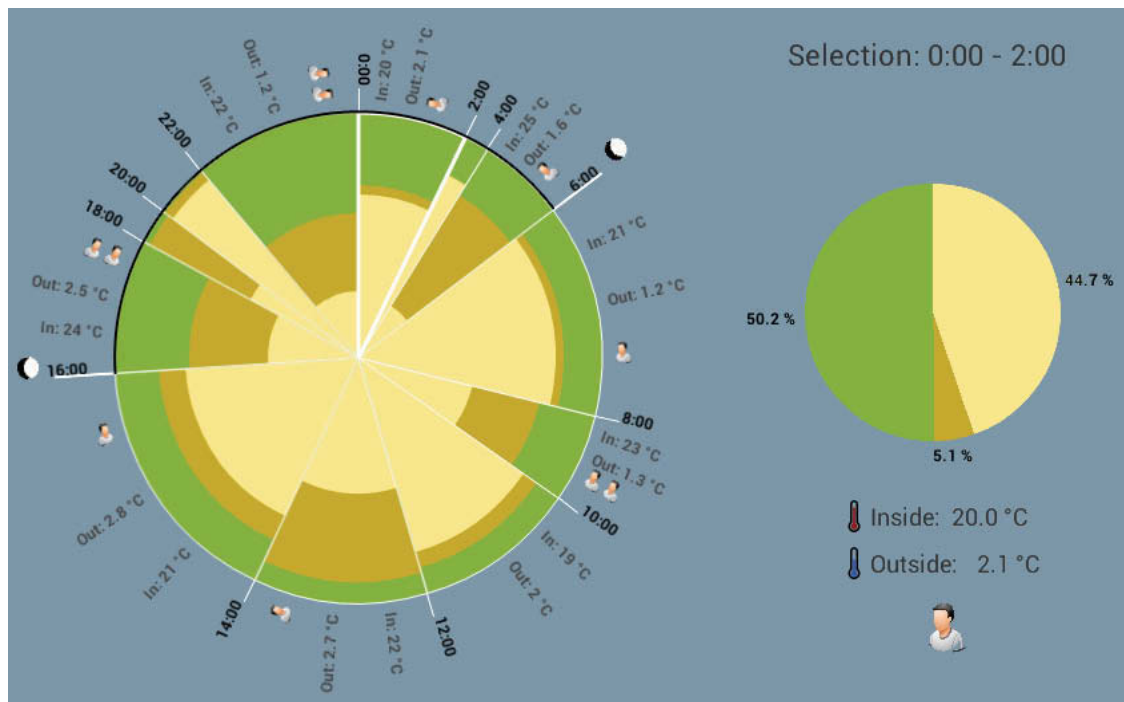


Abb. 15: Kontextinformationen wie Anwesenheit, Innenraum- und Außentemperatur lassen sich entlang des äußeren Randes zu den Segmenten ergänzen. An einigen Stellen reicht der Platz nicht aus, um diese Daten direkt am TimePie zu zeigen (z.B. 2:00-4:00, 18:00-20:00, 20:00-22:00). Hier hilft die Möglichkeit ein einzelnes Segment auszuwählen (weiß umrandet, 0:00-2:00), um dessen Daten in einer separaten Ansicht (rechts) zu inspizieren. Ein gesondertes Kuchendiagramm zeigt zudem die Ringe des gewählten Segments in unverzerrter Form. [Implementierung: Heimerl 2013]

3.4 Neuer Ansatz „TimeStack“

Es liegt nahe, die erschwerte Lesbarkeit des TimePie durch eine Entfaltung der Segmente zu lösen. Das „TimeStack“-Diagramm verfolgt dieselben Ziele und Ansätze wie die zuvor vorgestellte kreisförmige Komposition, resultiert aber in einem rechteckig aufgebauten Balken- bzw. Flächendiagramm. Abb. 16 zeigt das grundsätzliche Erscheinungsbild dieses Ansatzes.

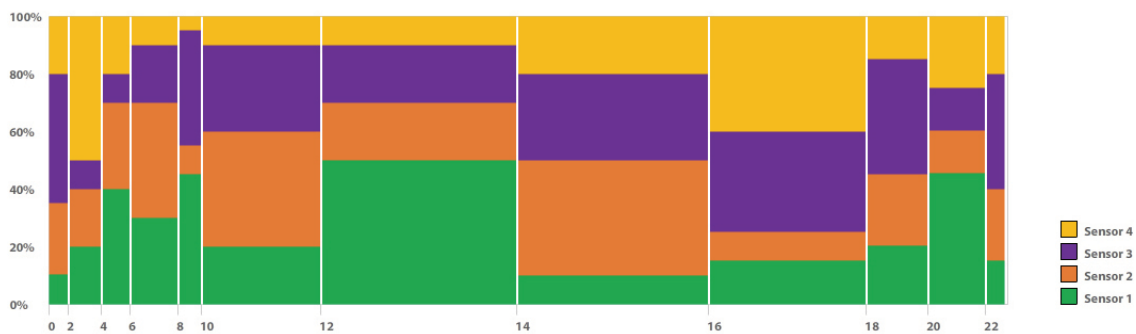


Abb. 16: Beispiel für das Visualisierungsprinzip TimeStack. (Daten: Siehe Anhang 9.2)

Die gesamte Fläche des Diagramms beschreibt auch hier die Summe aller dargestellten Daten, also zum Beispiel den Energieverbrauch innerhalb eines Zeitraums von 24 Stunden. Durch die Unterteilung in blockförmige Segmente werden Abschnitte innerhalb des gesamten Zeitraums definiert (Abb. 17).

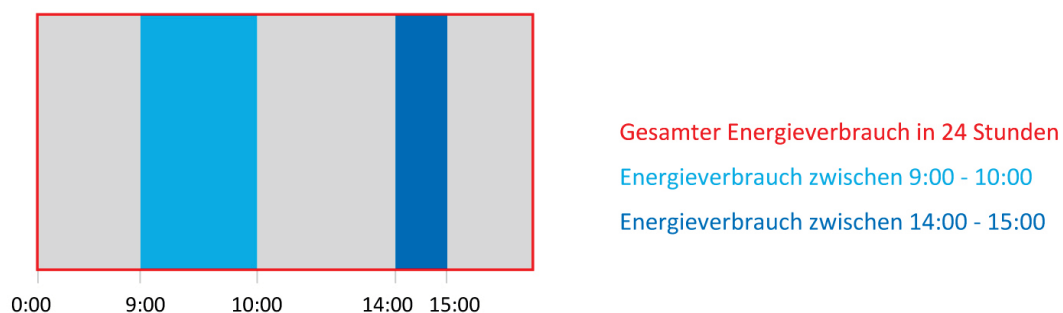


Abb. 17: In der Stapel-Variante stellt die Diagrammfläche den Gesamtverbrauch innerhalb von 24 Stunden dar. Zeitabschnitte erscheinen in Form von Balken.

Die horizontale Achse enthält die Zeitdimension und erinnert durch ihre Gradlinigkeit an einen Zeitstrahl, der sich in Abschnitte gliedert. Wie bei TimePie unterscheidet sich diese Unterteilung vom konventionellen Zeitrhythmus dadurch, dass die Segmentbreite variiert. Jeder Block markiert durch seine Ränder einen Zeitpunkt, visualisiert aber gleichzeitig durch seine Breite zusätzlich den in diesem Abschnitt erfassten Energieverbrauch (Abb. 18).

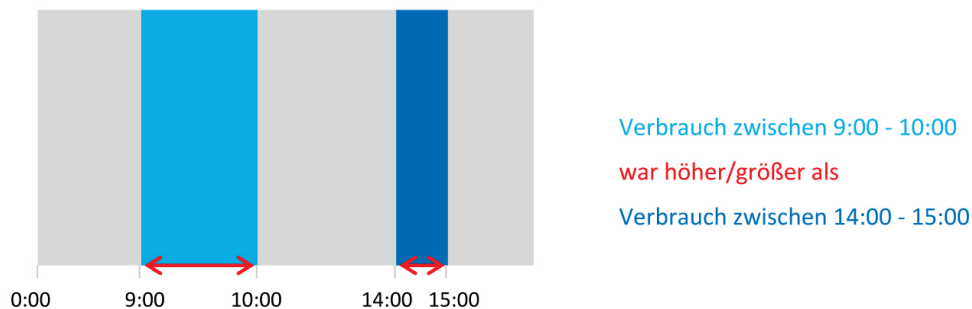


Abb. 18: Die Balken-Breite richtet sich nach den im jeweiligen Zeitraum gemessenen Daten, in Anteilen am Gesamtverbrauch (verfügbare Gesamtfläche).

Um Details zu den Verbrauchsquellen offen zu legen, unterteilt sich jeder Zeitabschnitt zusätzlich in einzelne Verbrauchsgrößen, wie zum Beispiel unterschiedliche Gerätetypen (Abb. 19). Da diese Darstellung verzerrungsfrei ist, ist keine spezielle Berechnung dieser Flächen nötig. Es genügt, die Höhe jedes Segments als Anteil von der Gesamthöhe zu ermitteln.

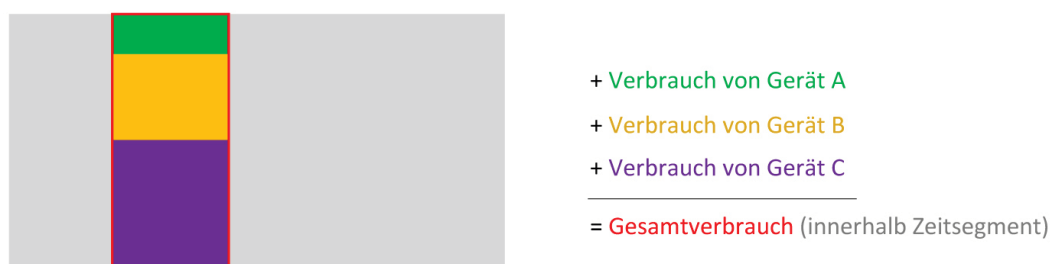


Abb. 19: Die Aufschlüsselung der Zeitsegmente in Datenquellen erfolgt durch Segmentierung der Zeitbalken.

Zwar erscheinen TimeStack-Diagramme durch ihre lineare Charakteristik grundsätzlich einfacher zu lesen, doch verschwimmen die zahlreichen Details bei kleiner Skalierung, wie der Verbrauchsübersicht während einer Woche. Entsprechend wurde eine

vereinfachte Form im App-Prototyp umgesetzt, bei der lediglich Tag- und Nachtzeit unterschieden werden. Durch den Aufbau entstehen hier drei Segmente, da die Nachtphase auf Anfang und Ende des Diagrammraums umgebrochen werden muss (Abb. 20).

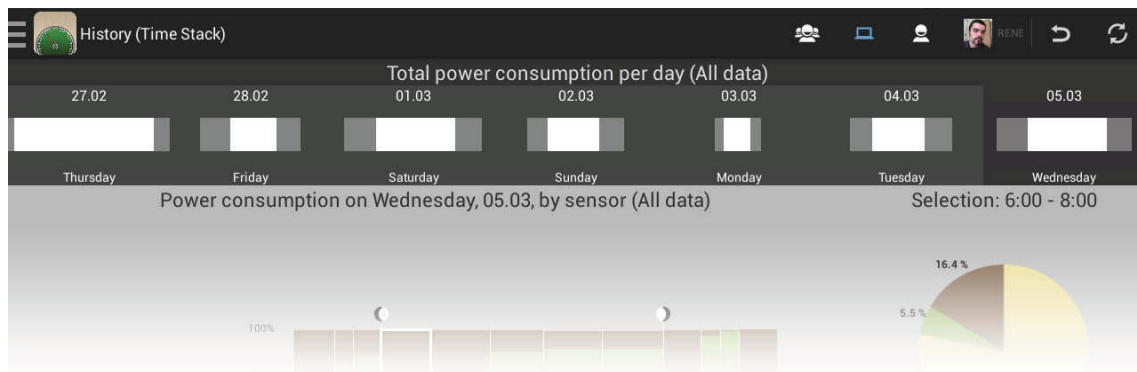


Abb. 20: Ausschnitt aus der Programmoberfläche einer prototypischen Umsetzung der Energievisualisierung für Android-Tablets. Im oberen Bildschirmbereich zeigt eine Serie von vereinfachten Flächendiagrammen den Gesamtverbrauch an den Tagen der letzten Woche. Über die Skalierung der Breite werden diese Größen in grafische Relation gesetzt. Die Nachtzeit (dunkelgrau) bricht hier um, während sie in TimePie zusammenhängt. [Implementierung: Heimerl 2013]

Ziel der vereinfachten Grafiken ist einerseits den Energieverbrauch der Tage gegenüberzustellen und somit vergleichbar zu machen. Andererseits zeigt die Segmentierung die Verteilung des Strombedarfs auf Tages- und Nachtzeiten. Um die Tage miteinander vergleichen zu können, drückt sich der Verbrauch in der Blockgröße aus. Für diese Abbildung kommen die beiden Achsen in Frage, d.h. die Höhe oder die Breite des Blocks. Abb. 21 stellt beide Möglichkeiten grafisch gegenüber. Die Skalierung der Höhe („Verteilte Codierung“) entspräche dem Pendant zu TimePie, bei dem sich die Tag-Nacht-Unterteilung und die Gesamtskalierung durch die rechtwinklige Ausrichtung zueinander nicht überschneiden. Diese Variante hat den Vorteil, dass sich der Gesamtverbrauch ähnlich einem Balkendiagramm sehr einfach ablesen lässt. Ebenso ist die Segmentierung leicht ablesbar, da sich die Breite der Tageszeiten direkt miteinander vergleichen lässt. Da es sich hier aber um relative Werte handelt, können hier Trugschlüsse entstehen, zumal gleich breite Segmente nicht den gleichen Stromverbrauch, sondern nur den gleichen Tagesanteil ausdrücken. So erscheinen die Tageszeiten (hellblau) der Tage A1 und A2 in Abb. 21 gleich dick, was aber nur bedeutet, dass an beiden Tagen ca. 50% des Strom tagsüber verbraucht wurde. Da der Block A2 wesentlich höher ist, wurde insgesamt an diesem Tag mehr Strom verbraucht. Der Gesamtverbrauch muss also immer mit beachtet werden. Die alternative Variante skaliert die Breite des Blocks, wodurch beide Dimensionen auf eine Achse abgebildet werden.

Auf diese Weise sind die Tagesflächen von B1 und B2 in Abb. 21 direkt miteinander vergleichbar, d.h. breitere Blöcke zeigen tatsächlich größeren Energieverbrauch. Da dieser Vergleich über eine einzige Achse schneller lesbar ist, wurde diese Skalierungsmethode im Prototyp angewandt.

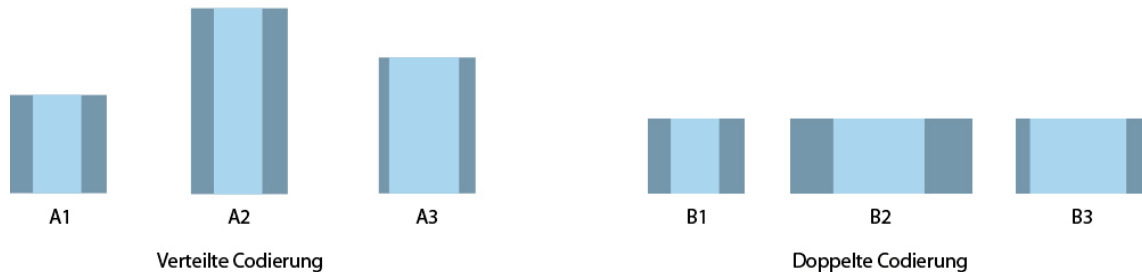


Abb. 21: Die Miniaturansichten enthalten zwei Informationen: Die Skalierung stellt den Gesamtverbrauch einzelner Tage gegenüber, während die Segmentierung die Verteilung auf Tag und Nacht zeigt. Links: Bei der „Verteilten Codierung“ verläuft die Tag-Nacht-Aufteilung entlang der Breite, während sich der Gesamtverbrauch in der Höhe zeigt. Direkte Vergleiche sind nur anteilig möglich oder erfordern das gedankliche Einbeziehen beider Achsen. Rechts: Die „Doppelte Codierung“ bildet beide Größen horizontal ab, wodurch Blockbreiten direkt miteinander vergleichbar sind. Breitere Segmente bedeuten tatsächlich höheren Stromverbrauch.

Die Platzierung von Kontextinformationen wie Temperatur- und Anwesenheitsdaten lässt sich im TimeStack schwieriger bewerkstelligen. In TimePie-Grafiken liefert die Verzerrung in dieser Hinsicht einen Vorteil, da die Achsen strahlenförmig auseinanderlaufen, wodurch am Rand liegende Daten automatisch relativ weit voneinander entfernt liegen. Die Linearität des TimeStacks verursacht dagegen häufig sehr eng aneinander liegende Achsenbeschriftungen. In Abb. 22 fällt zum Beispiel auf, dass der Platz nur für zwei Kontextbeschriftungen ausreicht. In der TimePie-Darstellung der selben Daten (Abb. 15) waren dagegen neun Beschriftungen möglich. Je nach vertikalem Bildschirmraum könnte dieses Problem geringfügig durch eine vertikale Textausrichtung entschärft, aber nicht grundsätzlich behoben werden. Da nahe beieinander liegende Zahlen in der Achsenbeschriftung auf den ersten Blick verschmelzen (z.B. 2 Uhr und 4 Uhr erscheinen wie „24“), ist zudem in Erwägung zu ziehen, eine Varianz einzubauen, so dass z.B. jede zweite Zahl vertikal versetzt steht. Der Platzmangel betrifft auch die Interaktionsmöglichkeiten: Sehr schmale Segmente lassen sich hier möglicherweise nur mit Mühe auswählen, da die Zielfläche sehr dünn ist. Zwar sind schmale Segmente auch bei TimePie und anderen Visualisierungsarten potentiell problematisch, doch werden Segmente und damit Klick-Flächen zum Kreisrand hin breiter und damit leichter erfassbar.

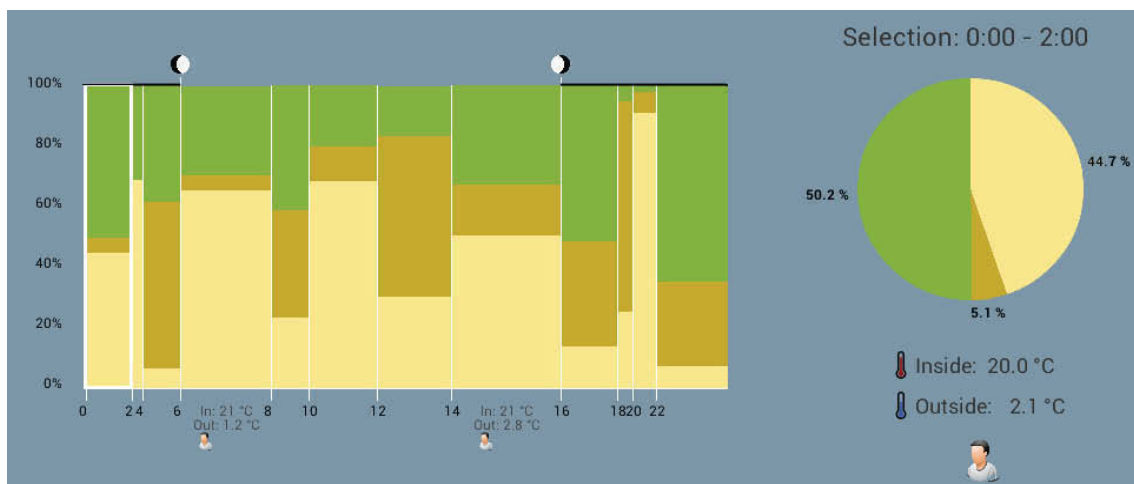


Abb. 22: Kontextinformationen wie Anwesenheit, Innenraum- und Außentemperatur lassen sich entlang des äußeren Randes zu den Segmenten ergänzen. An einigen Stellen reicht der Platz nicht aus, um diese Daten direkt am TimeStack zu zeigen. Je nach Bildschirmgröße ließe sich zusätzlicher Platz durch Drehung der Textausrichtung um 90° sowie einer vertikalen Verteilung gewinnen. [Implementierung: Heimerl 2013]

3.5 Gegenüberstellung von „TimePie“ und „TimeStack“

Da beide Visualisierungstechniken Vor- und Nachteile haben, wurden sie in der Arbeit von (Wiedemann, 2014) gegenübergestellt und evaluiert. Im hierfür konstruierten fiktiven Szenario erhalten die Teilnehmer Einblick über den Stromverbrauch verschiedener Geräte und Personengruppen in Form von TimePie- bzw. TimeStack-Diagrammen. Dafür kamen drei einzelne Graphen zum Einsatz. Auf einem Bildschirm erscheinen die kollektiven Verbrauchsdaten aller virtueller Szenario-Teilnehmer, aufgeschlüsselt nach Gerätetypen sowie nach Büros (Abb. 23). Eine separate Anzeige in Form eines Tabletcomputers gibt zudem Aufschluss über die fiktiven individuellen Verbrauchsdaten des Teilnehmers (Abb. 24). Der Kandidat soll im Verlauf des Experiments nun inhaltliche Fragen beantworten, die das Identifizieren und Vergleichen der visualisierten Daten erfordern. Um Rückschlüsse auf die gedanklichen Vorgänge bei dieser Auswertung der Diagramme ziehen zu können, wurde das Blickverhalten aufgezeichnet und so sichtbar gemacht, auf welche Bildbereiche der Teilnehmer gerade sieht und wie oft sein Blick zwischen den verschiedenen Diagrammen und dem Fragebogen wechselt. Weil diese einzelnen Zonen physisch über mehrere Monitore verteilt dargestellt wurden, ließ sich ein stationärer Blickaufzeichner nicht einsetzen. Statt dessen trugen die Teilnehmer eine Brille⁹, die eine völlig freie Kopfbewegung ermöglicht. Abb. 25 zeigt den Versuchsaufbau mit den unterschiedlichen Geräten sowie die zu tragende Blickaufzeichnungsbrille.

⁹ Eyetracking-Hardware von SMI.

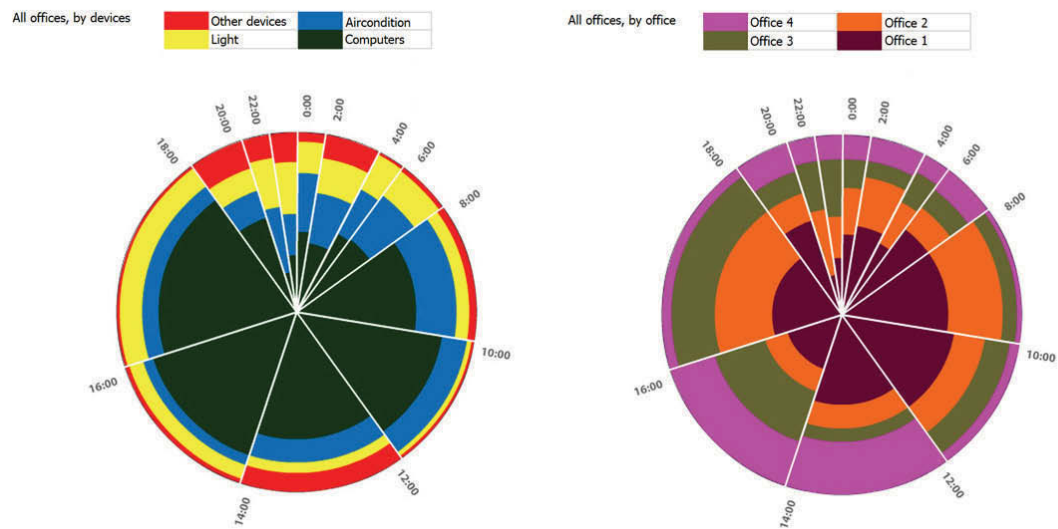


Abb. 23: Darstellung kollektiver Daten in Form von TimePie, gegliedert nach Gerätetypen (links) und Büros (rechts). [Bild aus (Wiedemann, 2014)]

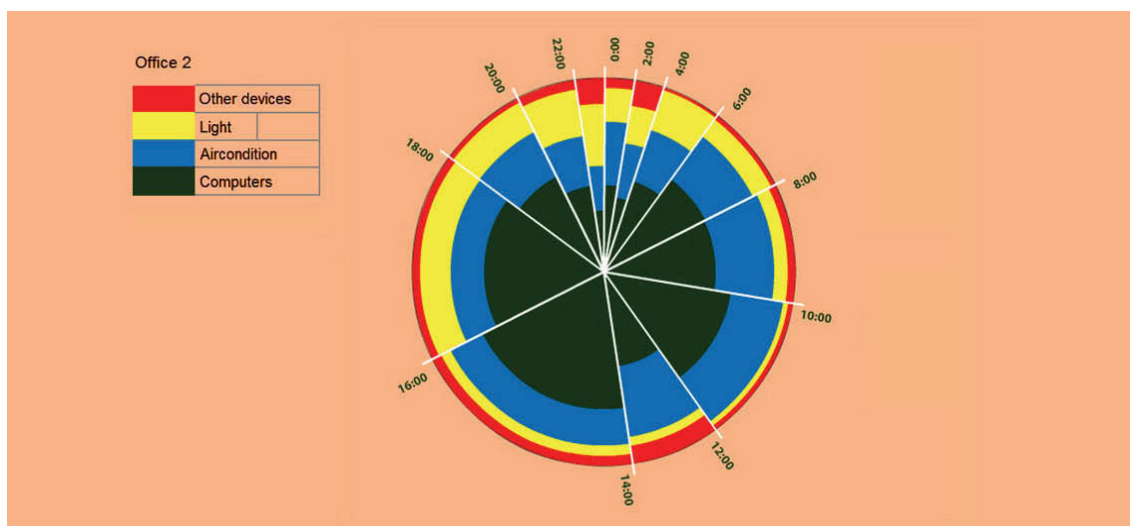


Abb. 24: Darstellung individueller Daten als TimePie, gegliedert nach Gerätetyp. Die orange Hintergrundfarbe stellt eine grafische Referenz zur kollektiven Ansicht dar, wo das eigene Büro ebenfalls orange eingefärbt wurde (Abb. 23 rechts). [Bild aus (Wiedemann, 2014)]

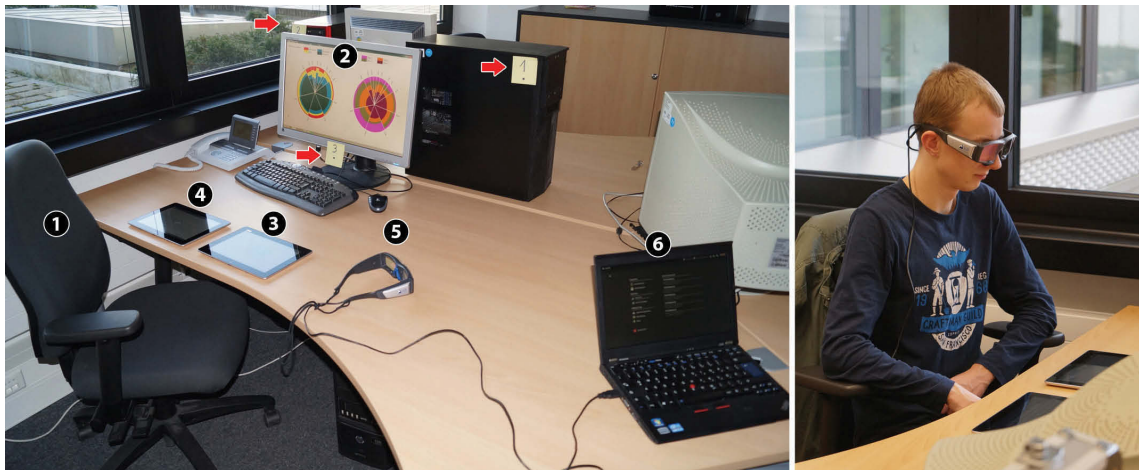


Abb. 25: Studienaufbau für die Evaluierung von TimePie und TimeStack. Links: 1: Sitzplatz des Probanden. 2: Darstellung kollektiver Daten. 3: Darstellung individueller Daten. 4: Interaktiver Fragebogen. 5: Blickaufzeichnungsbrille. 6: Laptop für Betrieb und Auswertung des Eyetrackers. Die roten Pfeile deuten auf die Kalibrierungspunkte für den Blickaufzeichner. [Foto aus (Wiedemann, 2014)] Rechts: Die Versuchsperson trägt eine Spezialbrille, die die Überwachung des Blickverhaltens über mehrere Monitore hinweg ermöglicht.

Der grundsätzliche Ablauf des Experiments folgte der in Abb. 26 dargestellten Sequenz. Nach dem Erfassen der Metadaten wie Alter, Geschlecht und Vorerfahrungen ist eine *Kalibrierung des Blickaufzeichners* erforderlich. Für diese wurde der Teilnehmer gebeten auf drei im Raum platzierte Referenzpunkte (rote Pfeile in Abb. 25) zu sehen, ohne den Kopf zu bewegen. Der Versuchsleiter markiert diese Punkte im Kamerabild auf dem Blickaufzeichnungscomputer, wodurch sich eventuelle Abweichungen zwischen dem gemessenen Blickpunkt und dem Zielpunkt korrigieren lassen.

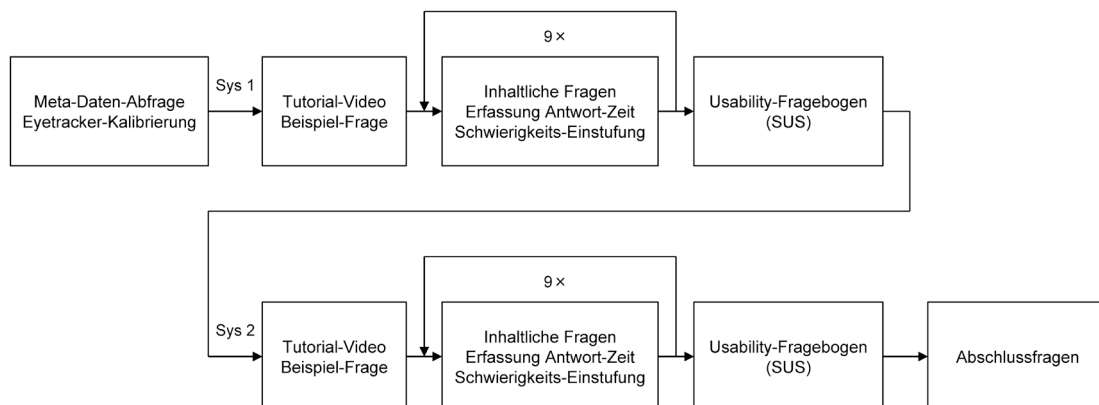


Abb. 26: Aufbau des Experiments. Sys 1 und Sys 2 legen die zufällig ermittelte Reihenfolge von TimePie und TimeStack fest.

Im Anschluss wurde per Zufallssystem TimePie oder TimeStack als Visualisierungsform ausgewählt und das Konzept anhand eines Einführungsvideos vorgestellt und das Systemverständnis mittels einer Kontrollfrage geprüft. Daraufhin folgt der eigentliche Fragenkatalog, der aus neun inhaltlichen Fragen besteht, die in Form einer Mehrfachauswahl zu beantworten waren.

Die Fragen gliederten sich nach drei Schwierigkeitsstufen hinsichtlich der gedanklich zu vergleichenden Komponenten (Wiedemann, 2014 S. 18):

- Vergleiche innerhalb der eigenen Verbrauchsdaten
- Vergleiche zwischen den eigenen und den kollektiven Daten
- Komplexe Vergleiche zwischen allen verfügbaren Daten

Für jede Frage wird die Beantwortungszeit gemessen, sowie nach einer subjektiven Schwierigkeitsbewertung gefragt. Den Abschluss der Fragesequenz bildet der „Standard Usability Scale“, ein vereinheitlichter Katalog aus zehn Fragen zur qualitativen Bewertung der Bedienbarkeit eines Systems. Beginnend mit dem Tutorial-Video wird diese Sequenz erneut durchlaufen, jedoch mit dem jeweils zuvor nicht ausgewählten Diagrammtyp. Im finalen Abschlussfragebogen (Post Questionnaire) hatte der Teilnehmer schließlich die Möglichkeit die beiden Visualisierungstypen subjektiv zu bewerten und die persönlichen Präferenzen auszudrücken.

3.6 Zusammenfassung der Nutzerbefragung

Die genauen Ergebnisse der Studie wurden bereits ausführlich in (Wiedemann, 2014) und (André, et al., 2014) beschrieben und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

An der Studie nahmen 15 Testpersonen teil, von denen acht der Universität angehörten, fünf Studenten waren und zwei aus einem nicht akademischen Umfeld stammten. Elf Teilnehmer waren männlich, vier weiblich. 60% haben ein Alter zwischen 20 und 29 Jahren, während sich die restlichen 40% in die Gruppe der 30-39-Jährigen zuordneten. Acht Teilnehmer waren Brillenträger, die Vorerfahrung mit Tabletcomputern betrug 3.3 auf einer Likert-Skala (1:keine Erfahrung, 5: viel Erfahrung). Keiner gab Probleme mit dem Tragen des Blickaufzeichners oder dem Bedienen eines Tablets an.

Insgesamt konnte die Evaluierung nur wenige statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Visualisierungstypen TimePie und TimeStack feststellen. Dennoch schien TimeStack, wie vermutet, grundsätzlich besser abzuschneiden, vor allem in Be-

zug auf die Korrektheit der Antworten, die gemessenen Antwortzeiten sowie der Anzahl der durch den Blickaufzeichner identifizierten Blickwechsel. Die Ergebnisse deuten an, dass Vergleiche zwischen den ringförmigen Flächen des TimePie-Diagramms schwieriger oder zumindest zeitaufwändiger sind als Vergleiche der verzerrungsfreien Blöcke des TimeStack. Dass die Winkelverzerrung von der Position des Rings im Diagramm abhängt (Abb. 27), spiegelte sich auch in den Studienergebnissen wieder. Besonders der Vergleich von dreieckigen Flächen mit ähnlich großen Randstücken schien den Teilnehmern besonders schwer zu fallen. Bereiche mit ähnlicher Form oder sehr deutlichen Größenunterschieden konnten besser, im Vergleich aber immer noch zum Vorteil von TimeStack beantwortet werden.

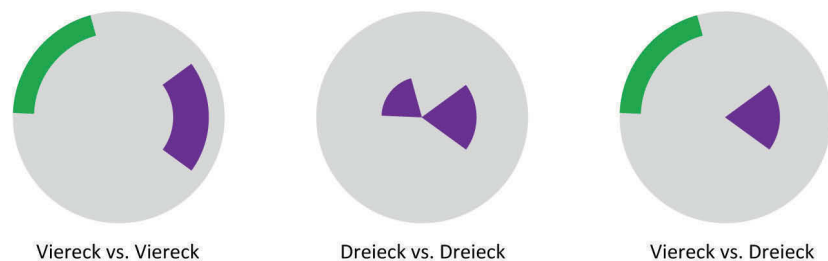


Abb. 27: Die Form der Segmentflächen hängt in TimePie-Diagrammen von der Position im Ring ab. So erscheinen am Mittelpunkt anliegende Flächen dreieckig, während mittige oder am Rand liegende Bereiche viereckig erscheinen. Entsprechend ergeben sich unterschiedliche Herausforderungen beim Vergleichen. Links: Werden Rand und/oder mittige Stücke verglichen stehen sich zwei (gebogene) Vierecke gegenüber. Mitte: Innenliegende Flächen erfordern den Vergleich von Dreiecken. Rechts: Bei der Mischung müssen Vier- und Dreiecke verglichen werden, was den Studienteilnehmern am schwersten fiel.

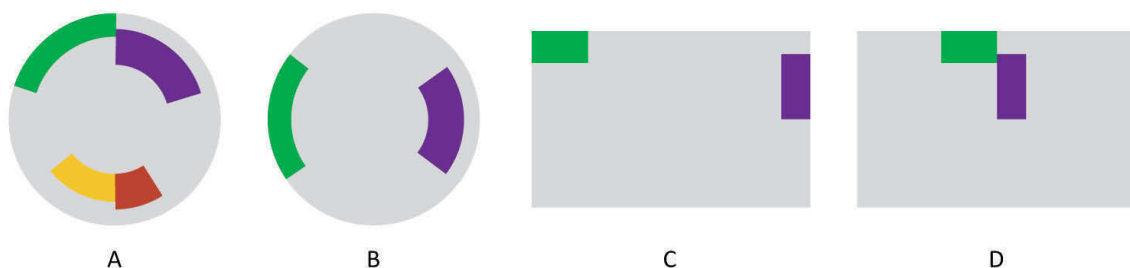


Abb. 28: Der Abstand zwischen zu vergleichenden Flächen verhält sich bei TimePie anders als bei TimeStack. A: Sowohl zu Tagesanfang und -ende (oben, grün-lila) als auch in der Tagesmitte (unten, gelb-rot) liegen die Flächen direkt aneinander, was den direkten Vergleich vereinfachen kann. B: Die weiteste Distanz, d.h. der für die Vergleichbarkeit schlechteste Fall, ist bei TimePie dann gegeben, wenn die zu vergleichenden Flächen gegenüber liegen. Alle andere Paarkombinationen nähern sich einander an. C: Bei TimeStack liegen die zu vergleichenden Flächen um so weiter auseinander, um so größer der Zeitraum dazwischen ist. D: Es gibt hier nur einen Idealfall, in der Tagesmitte, bei dem die Flächen direkt aneinander angrenzen.

Einige Teilnehmer gaben explizit an, dass es ihnen schwer fiel, Flächen in einigen Fällen zu vergleichen, was insbesondere Fragen betraf, bei denen der tatsächliche Größenunterschied sehr gering war. Vor allem bei der Identifikation von kleinen Unterschieden könnte die geschlossene Kreisform der TimePie-Diagramme einen Vorteil darstellen. Flächen zu vergleichen ist üblicherweise umso einfacher, je näher diese räumlich beieinander liegen. Unter dieser Annahme, die in der bisherigen Aufbereitung der Studie noch nicht näher untersucht wurde, zeigt Abb. 28, dass sich Flächen, die Tagesanfang und -ende markieren, direkt berühren (Abb. 28:A). Selbiges gilt für die Tagesmitte. Bei TimeStack liegen diese Elemente dagegen sehr weit auseinander, was den Vergleich erschwert (Abb. 28:C). Der beste Vergleich ist im Fall des blockförmigen Diagramms nur einmal zur Tagesmitte gegeben (Abb. 28:D), in allen anderen Fällen bewegen sich die Flächen voneinander weg. Für TimePie entsteht der schlechteste Fall, d.h. die größte Distanz, nur für zwei gegenüberliegende Flächen (Abb. 28:B), während alle anderen Flächenpaare näher beieinander liegen.

Zusammenfassend ist zu betonen, dass die Intention von TimePie und TimeStack nicht ist, präzise Daten darzustellen. Vielmehr geht es um das Sichtbarmachen von Relationen, die es dem Anwender ermöglichen, Verbrauchstendenzen¹⁰ und deren Ausdehnung¹¹ zu bewerten. Um konkrete Messdaten präzise zu explorieren, eignen sich andere Visualisierungsformen, wie z.B. Liniengraphen, oder sogar reine Textdarstellungen besser¹².

¹⁰ Wurde „mehr“ oder „weniger“ verbraucht?

¹¹ z.B. „sehr viel mehr/weniger“, „etwas mehr/weniger“, „quasi gleich viel“, ...

¹² vgl. auch Kapitel 2.3

3.7 Kapitelzusammenfassung

Dieses Kapitel befasst sich mit der bisher in der Informatik üblichen Herangehensweise Daten auf eine sachlich motivierte Weise zu visualisieren. Datenvisualisierungen sind im Allgemeinen darauf ausgerichtet, Mengenvergleiche oder zeitliche Entwicklungen zu zeigen. Die neuen Visualisierungstypen „TimePie“ – eine mehrdimensionale Erweiterung eines Kuchendiagramms – und „TimeStack“ – eine verzerrungsfreie Weiterentwicklung der kreisförmigen Version – kombinieren diese beiden Aspekte. Dabei wird die Vermittlung von Mengenrelationen statt präzisen Werten angestrebt, um Anwendern einen Eindruck von ihren Verhaltenstendenzen zu geben. Eine Besonderheit gegenüber herkömmlichen Zeitdarstellungen liegt in der variablen Segmentbreite, die sich z.B. anteilig am Messungszeitraum ausrichtet. Bei der weiteren Unterteilung der TimePie-Segmente, die zusätzliche Messdetails integriert, spielt es für die Wahrnehmung sowie die Richtigkeit der Darstellung eine große Rolle, ob der Radius oder die Fläche als Berechnungsgrundlage dient. TimeStack ist eine rechteckige Erweiterung von TimePie, durch die radiale Verzerrungen vermieden werden, was jedoch zu Einschränkungen bei der Platzierung von Kontextinformationen führt. Beide Visualisierungsformen wurden in einer Studie mit Blickaufzeichnung gegenüber gestellt. Dabei schnitt der TimeStack in objektiven und subjektiven Ergebnissen besser ab. Die Anforderung unterschiedlich geformte Flächen innerhalb des TimePie zu vergleichen, schien den Kandidaten besonders schwer zu fallen.

Tufte definiert einige Gestaltungsrichtlinien für Datenvisualisierungen, die als handwerklicher Leitfaden dienen können und stößt dabei auch an die im nächsten Kapitel diskutierten ästhetischen Motive an. Kontraste sind dabei essentielle Bausteine visueller Spannung, die zur Verständlichkeit beitragen. Sachliche Visualisierungen erfordern höchste Sorgfalt bei der Erstellung, da es schnell zu Falschaussagen kommt, wenn sich grafische und inhaltliche Variationen vermischen oder Verzerrungen durch Perspektiveneffekte entstehen.

4. Adaptive Formensprache:

Interaktive, ästhetisch motivierte Gestaltung

In den vorherigen Kapiteln wurden zwei Begriffe genannt, die die Motivation und Funktion der Gestaltung unterscheiden. *Sachlich motivierte Gestaltung* bezieht sich auf Fälle, in denen Grafik als Alternative zur textuellen Darstellung von faktischen Informationen zu Einsatz kommt. Dabei wird beabsichtigt, komplexe Datenmengen durch grafische Aufbereitung schneller überschaubar und einfacher miteinander vergleichbar aufzubereiten. Typische Anwendungsfälle sind im Bereich der Datenvisualisierung in Form von Diagrammen und Graphen zu finden. *Ästhetisch motivierte Gestaltung* kann auch als eine Form von Datenvisualisierung gesehen werden. Jedoch spielt nicht mehr nur die reine Faktendarstellung eine Rolle, sondern auch die erzählerische Dimension dekorativer Elemente, die einen inhaltlichen Bezug zur Hauptinformation aufweisen. Dabei spricht die Gestaltung häufig das Vorwissen des Betrachters an und stellt Bezüge zu verwandten Inhalten und Themen her. Im Sinne des Kommunikationsprozesses entstehen hier Anknüpfungspunkte zum *Geschichtenerzählen*, wie es aus Medien wie Büchern, Bildern, Filmen und Computerspielen bekannt ist. Dieses Feld eignet sich potentiell dafür, Immersion, Emotionalität und Begeisterung zu stimulieren und dadurch das Interaktionserlebnis zu bereichern.

Zumal bisher in der Computerwissenschaft relativ wenig behandelt, steht die Verbindung von Datenvisualisierung mit gestaltungsphilosophischen Methoden im weiteren Verlauf der Arbeit im Mittelpunkt. Dabei wird die Auffassung zugrunde gelegt, dass es sich bei den visualisierten Daten nicht zwangsläufig nur um Messwerte oder andere numerische Größen handeln muss. Information soll stattdessen als weitläufiger *Kommunikationsinhalt* aufgefasst werden, weil sich auch Nachrichten und Systemmeldungen bildhaft darstellen lassen. Dies wird dann besonders deutlich, wenn die Visualisierung als Bestandteil von Unterhaltungssoftware auftritt und in einem Computerspiel zum Beispiel der Spielstand vermittelt werden soll. Rückmeldungen an den Spieler bestehen dabei nicht mehr nur aus reinen Zahlen, sondern auch aus Texten und geschichtenbezogenen Meldungen.

4.1 Theoretischer Hintergrund

Der mitunter sarkastisch gefärbte Satz „Was will uns der Künstler damit sagen?“ ist so häufig angesichts ratloser Gesichter im Kunstmuseum zu hören, dass er als Redewendung Einzug in den allgemeinen Sprachgebrauch gefunden hat. Dabei führt er gerade bei ernsthafter Auseinandersetzung mit Kunst zum Kernpunkt des in der vorliegenden Betrachtung fokussierten Ansatzes. In nahezu jeglicher Form von bildender Kunst versucht der Künstler seine Aussagen durch konkrete inhaltliche Symbolik, aber auch durch handwerkliche Mittel, zu kommunizieren und möglichst intuitiv verständlich zu machen. Der Begriff „visuelle Kommunikation“, der im industriellen Einsatz von Gestaltung wie etwa der Werbebranche häufig zum Einsatz kommt, macht deutlich, dass Grafikdesign oft nicht nur rein ästhetische Zwecke verfolgt, sondern sich gezielt einsetzen lässt, um Botschaften zwischen zwei Parteien zu vermitteln. Es kann sich dabei um Werbetreibende und Konsumenten, Autoren und Publikum oder sogar Maschinen und Menschen handeln.



Abb. 29: Eine Museumsbesucherin lässt die Stimmung eines alten Gemäldes auf sich wirken. Was wollte der Künstler mit dem Bild ausdrücken und warum wirkt die Inszenierung so überzeugend? [Malerei: Friedrich 1830. Clipart: Zacharzewski 2008.]

Klassische Stilmittel der Malerei, wie Beleuchtung und Farbgebung, werden auch in modernen Mediengenes wie Film und Multimedia eingesetzt, zumal sich nur das transportierende Medium, nicht aber die Wahrnehmungsgrundlage verändert hat. Das bedeutet, dass sich Prinzipien der klassischen Künste auch auf Filme und Computerspiele übertragen lassen, um die perzeptive Wirkung gezielt zu beeinflussen. Während sich Film und Animation vom statischen Bild zunächst nur insofern unterscheiden, als dass sie eine zeitliche Aufreihung *mehrerer* Einzelbilder darstellen, ergeben sich aus den neuen Medien durch Anwenderinteraktion und Echtzeitdynamik völlig neue Möglichkeiten und Herausforderungen.

4.1.1 Gestaltungsansätze im Kontext visuellen Erzählens

Aufgrund seiner essentiellen Bedeutung wird dieses Bewusstsein in der Fachliteratur umfangreich behandelt. Vor allem die Autoren aus expressiven Gestaltungsgebieten wie der Comic- oder Animationsfilmproduktion, wo Erzählung und Visualisierung besonders nahe beieinander liegen, legen besonderen Wert auf das Ausloten der narrativen Qualität visueller Stilmittel. Der populäre US-Comiczeichner Will Eisner zeigt beispielsweise in seinem Buch zum Thema „Graphic Storytelling and Visual Narrative“ (Eisner, 2001) die unmittelbaren Zusammenhänge zwischen inhaltlicher und visueller Erzählung auf. Er benennt dafür zunächst die medienübergreifenden Grundmuster des Geschichtenerzählens, stellt die Eigenschaften von verbalem und visuellem Erzählen gegenüber und liefert schließlich konkrete Beispiele für die von der Ausgestaltung abhängige Bedeutungsvielfalt (Abb. 30). Tom Bancroft, langjähriger Animationszeichner bei Disney, zeigt, dass dieses Prinzip nicht nur verallgemeinert, sondern im Gegenteil auch in allen Detailstufen immer wieder als gestalterische Entscheidungsgrundlage auftaucht. Sein Buch, das bezeichnenderweise den Titel „Creating Characters with Personality“ trägt (Bancroft, 2006), konzentriert sich darauf, die Persönlichkeit, also das zugrundeliegende und zu erzählende Schicksal eines virtuellen Charakters¹³ in allen Gestaltungsfragen zu reflektieren. Erst wenn alle Bestandteile von Körperbau über Farbe und Kleidungsstil bis hin zu Bewegungsablauf und Verhalten bewusst vor dem Hintergrund der Geschichte der Figur entworfen werden, lässt sich nach Bancrofts Darstellung ein hochqualitatives Gestaltungskonzept finden.

¹³ „Virtuell“ bezeichne hier nicht nur softwaregestützte Entwürfe, sondern generell alle durch einen künstlerischen Prozess konstruierten Figuren.

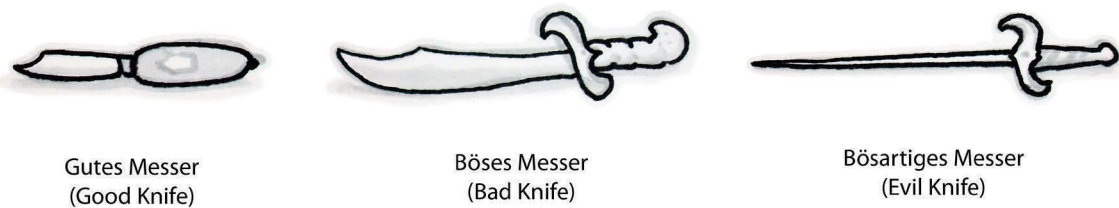
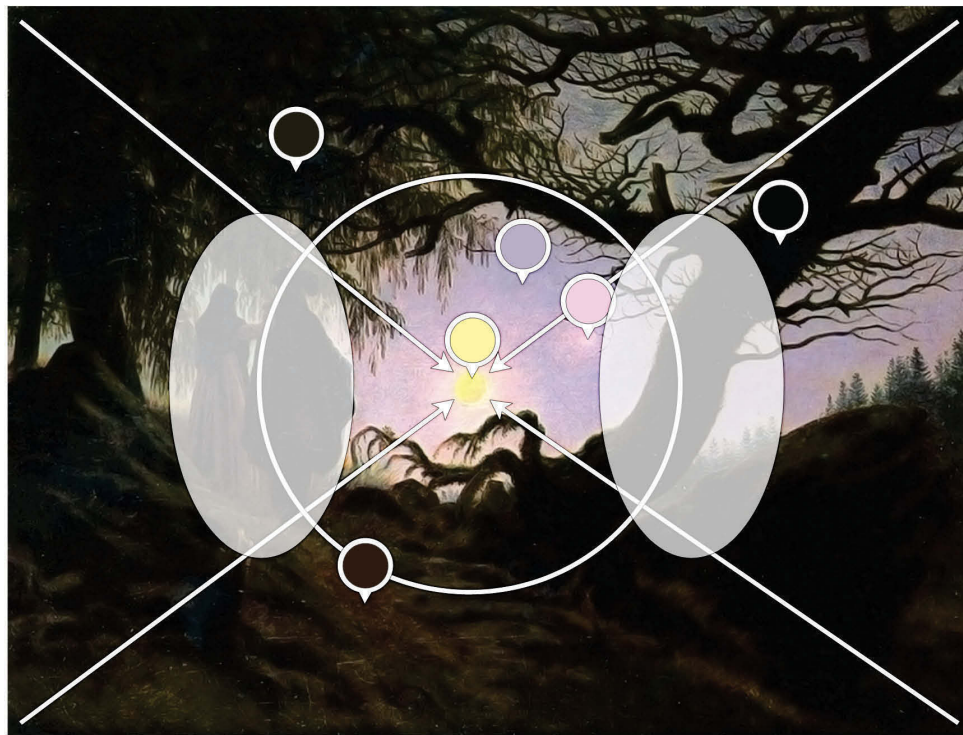


Abb. 30: Objekte, in deren äußerer Form verschiedene Wertigkeiten und Bedeutungen mitschwingen. Die konkrete Gestaltung des Objekts „Messer“ richtet sich nach der zu vermittelnden Bedeutung in der Erzählung. [frei nach (Eisner, 2001)]

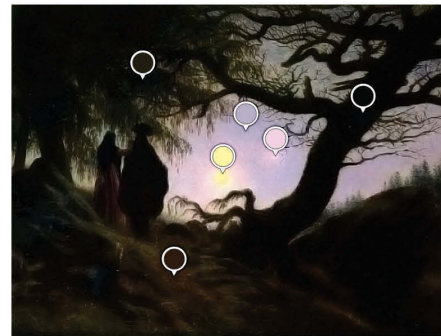
Der Einsatz von erzählerischer Gestaltung zeigt sich an zahlreichen Beispielen von Illustration, Film oder interaktiven Medien. Ausgefallene Genres wie „Mythologie“, „Science Fiction“ oder „Abenteuer“ eignen sich aufgrund ihres surrealen Naturells besonders gut zur malerischen Idealisierung und damit zum maximalen Einsatz visueller Erzähltechniken. Künstler verschiedenster Epochen machen sich dieses Prinzip schon seit langem zu Nutze. Anhand des in Abb. 31 gezeigten Gemäldes von Caspar David Friedrich, das um 1830 entstand, lassen sich einige narrative Stilmittel veranschaulichen, mit Hilfe derer der Maler das romantische Motiv in der Gesamtinszenierung unterstreicht. Die zentrierte Position des Mondes und seine Rahmung durch die umliegend angeordneten Personen und Pflanzen führt beispielsweise zu einer runden, harmonisch wirkenden Anordnung (Abb. 31 A). Durch den Einsatz heller Pastelltöne, die im Gegensatz zur dunkel gefärbten Umgebung stehen, wird dieser radiale Aufbau zudem unterstützt (Abb. 31 B). Analysiert man des Weiteren die visuelle Gewichtung, so erklärt sich, dass der dominante Baum in der rechten Bildseite nicht zufällig platziert wurde. Er baut vielmehr ein Gegengewicht zu dem Liebespaar auf (Abb. 31 C) was zu einer ausgewogenen und harmonischen Balance im grafischen Spannungsaufbau führt. Balance, Harmonie und Rahmung transportieren visuell die erzählerischen Attribute, die in dieser romantischen Szene vermittelt werden sollen.



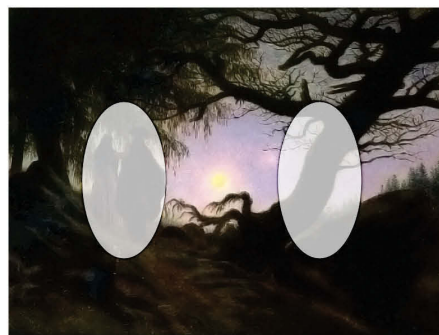
A) + B) + C)



A)



B)



C)

Abb. 31: Grafische Stilmittel zur Erhöhung der Expressivität. A) Runde Anordnung der Elemente zur Erzeugung einer harmonischen Stimmung. B) Ein reduziertes, sorgfältig ausgewähltes Farbklima greift das romantische Thema auf. C) Gegenüberstellung von visuellen Objekten zugunsten einer stabilen Bildbalance, die die Besinnlichkeit der Szene unterstützt. [Malerei: Friedrich 1830]

4.1.2 Filmgestaltung als Inspiration für interaktiven Medien

Das Prinzip gezielter, nach der erzählerischen Wirkung ausgerichteter Inszenierung etablierte sich auch in der Vorstufe interaktiver Medien: der Film- und Medienproduktion. Hier treten mehrere Fachbegriffe in Erscheinung, deren gegenseitige Abgrenzung nicht immer klar definiert ist, zumal die grundsätzliche Intension zwar die gleiche ist, sich das zur Umsetzung eingesetzte Werkzeug aber im Detail unterscheidet. Bordwell und Thompson beschreiben die Termini ausführlich und führen *Mise en Scène*¹⁴ als bekanntestes Stilmittel filmischer Techniken an. Gestaltungsentscheidungen, die denen der Theaterkunst ähneln, wie das in Szene setzen von Kulisse, Beleuchtung und Kostümen bis hin zur Verhaltensgestaltung der Figuren, werden ihrer Definition zufolge durch den Begriff abgedeckt (Bordwell, et al., 2010 S. 117-119). Diese Komponenten weisen eine große Nähe zum Inhaltlichen auf, d.h. sie befassen sich mit dem Motiv vor der Kamera, weshalb *Mise en Scène* auch als theaterwissenschaftliche Bezeichnung der Regiearbeit gilt (Wulff, 2012). Dagegen abgrenzend diskutiert das Konzept des *Mise en Cadre* die Frage der Platzierung von Flächen und Formen innerhalb des Bildrahmens zugunsten ihrer dramaturgischen Wirkung (Ebrahimian, 2004; Eisenstein, 1967; Wulff, 2012). Dies stellt nur *ein* Element der von Bordwell et al unter dem Begriff *Cinematography* gruppierten Gestaltungskanäle dar, die z.B. auch Farbspektrum, Bewegungscharakteristika, Perspektive und Kameraeinstellungen umfassen (Bordwell, et al., 2010 S. 167 ff). Es überrascht nicht, dass zur Anwendung dieser bedeutenden Grundlagen entsprechend umfangreiche Fachliteratur existiert. Van Sijll versucht sich in ihrem Buch über *Cinematic Storytelling* (van Sijll, 2005) beispielsweise daran, einen Methodenkatalog mittels der analytischen Aufarbeitung konkreter Filmbeispiele zu definieren. Dass schon allein diese „Zusammenfassung der mächtigsten Mittel“ 100 Elemente umfasst, deutet die Breite des Themenspektrums Filmbildgestaltung an.

Der Vollständigkeit halber seien noch drei Bereiche erwähnt, die auf die sequentielle und multimediale Natur des Films eingehen. Die *Montage* legt besonderes Augenmerk auf die Zeitkomponente, was sowohl deren direkte Darstellung als auch die Steuerung der Erzähldynamik einbezieht¹⁵. Sie wird gelegentlich auch mit dem Begriff des *Editings*¹⁶ zusammengefasst, das in der Nachbearbeitungsphase die Beziehung aufei-

¹⁴ In dieser Arbeit wird die deutsche Schreibweise „*Mise en Scène*“ gemäß Duden verwendet. Im englischen Sprachraum wird in der Regel „*mise-en-scene*“ bevorzugt.

¹⁵ Der Begriff „Montage“ findet hier wie durch (Bordwell, et al., 2010 S. 254) beschrieben Verwendung. Der Montage-Begriff des vielzitierten Filmemachers Sergej Eisenstein unterscheidet sich hiervon durch den Sinn als „intellektuelle Montage“ (Amann, 2012), in der der gezielte Einsatz von Symbolen und Suggestionen behandelt wird.

¹⁶ „Editing“ entspricht im Wesentlichen dem deutschen Begriff „Schnitt“.

einanderfolgender Einstellungen gestaltet. Schließlich ergänzt der Themenbereich *Sound Staging* („Tonbühne“) die Mittel der Filmgestaltung um einen akustische Bestandteil.

Die nachfolgende Tabelle 1 fasst die genannten Methoden zusammen.

Begriff	Gestaltung	Komponente
Mise en Scène	Inhaltliche Inszenierung, Auswahl u. Platzierung der Objekte vor der Kamera	Räumliche Anordnung
Cinematography	Summe grafischer Filmgestaltungsmittel, Erzählung mittels Bewegtbild	Grafische Anordnung
Mise en Cadre	Grafische Platzierung von Elementen im Bildrahmen	
Montage	Dramaturgische Gestaltung zeitlicher Parameter	Zeitliche Anordnung
Editing	Gestaltung der Beziehung ¹⁷ einzelner Einstellungen zueinander	Sequentielle Anordnung
Sound Staging	Verstärken der Erzählung durch Audioelemente und deren Synchronisation mit grafischen Bestandteilen	Akustische Anordnung

Tabelle 1: Vergleich und Abgrenzung einer Auswahl von Autorentechniken des Filmhandwerks.

¹⁷ Bordwell et al. definieren die grafische, rhythmische, räumliche und zeitliche Beziehung zweier Einstellungen (Shots) als Dimensionen des „Film Editing“ (Bordwell, et al., 2010 S. 225).

4.1.3 Bestehende Ansätze

Die Informatik beschäftigt sich zusehends mit Filmtechniken vor allem im Bereich des virtuellen Dramas, dem beispielsweise zahlreiche Computerspiele angehören. Es ist allerdings eine geringere begriffliche Differenzierung innerhalb der Veröffentlichungen in der Computerwissenschaft festzustellen, in denen die feingranularen filmtechnischen Unterordnungen häufig kurz unter dem Oberbegriff *Cinematography* zusammengefasst werden. Ein Beispiel hierfür ist die virtuelle Lichtsetzung, die als Bestandteil der Szenenmodellierung dem filmtechnischen *Mise en Scène* zuzuordnen wäre. Mitunter tendieren einige Autoren außerdem dazu, ihre Bearbeitung einzelner Teilbereiche, allen voran etwa die Kameraarbeit, als *Cinematography* zu betiteln, ohne auf die ursprüngliche Breite des Begriffs (Abb. 32) zu verweisen.

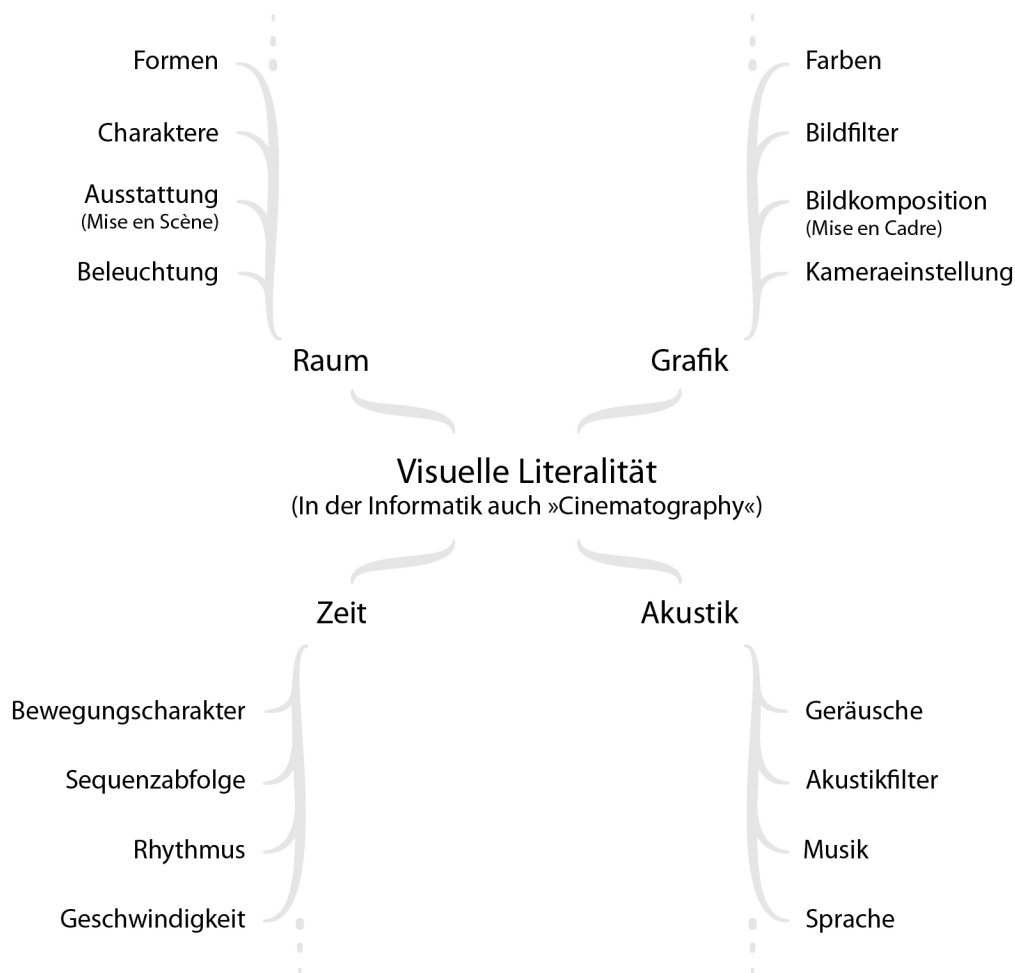


Abb. 32: Das umfangreiche Themenfeld visueller Erzählwerkzeuge wird in computerwissenschaftlichen Arbeiten oft unter dem Oberbegriff *Cinematography* zusammengefasst. [Grafik inspiriert durch (Goulding, et al., 2004)]

Im Prozess der Computerspielentwicklung haben cinematographische Prinzipien einen festen Platz. Mittlerweile bewegen sich einige Produktionen von einem statischen, einmal entwickelten Design hin zu mehreren Varianten eines Objekts, um unterschiedliche Themen und Spannungsfelder zu suggerieren. So finden sich im Kunstband des beliebten Online-Rollenspiels *WORLD OF WARCRAFT*¹⁸ Beispiele für alternative Erscheinungen identischer Objekte, die von der zu vermittelnden Stimmung und Umgebung abhängen (BradyGames, 2005). Abb. 33 stellt beispielsweise das Design von Bäumen in unterschiedlichen Spielszenen nach. Die Landstriche „Wald von Elwynn“ und „Dämmerwald“ stellen zwei aneinander angrenzende Areale dar, deren grundsätzlicher Aufbau fast spiegelgleich scheint. Die am jeweiligen Ort angesiedelten Lebewesen entstammen jedoch gegensätzlichen Spielparteien. Durch Berücksichtigung bei der Gestaltung der virtuellen Szenenobjekte wird sowohl die Parallelität als auch der Kontrast visuell unterstützt und vermittelt. In beiden Zonen existieren z.B. Baumarten von ähnlicher Struktur. In dem positiv konnotierten, von Menschen regierten Bereich weist die Baumgestaltung ein glattes, vitales Erscheinungsbild auf (Abb. 33 A), während sich die Herrschaft von Untoten in der Gegenwelt in einem unruhigen, kranken Aussehen (Abb. 33 B) manifestiert.

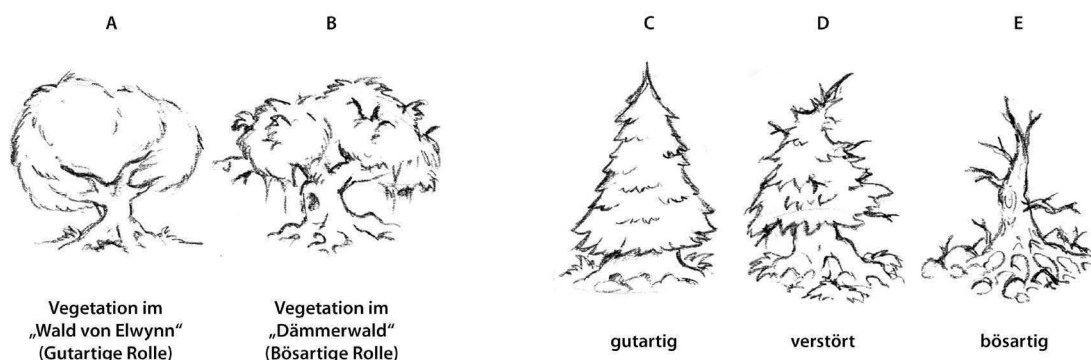


Abb. 33: Stimmungsabhängige Objektvarianten, ähnlich wie sie in Konzepten für das populäre Rollenspiel *WORLD OF WARCRAFT* auftauchen. Abhängig vom dramaturgischen Kontext treten gleichartige Elemente, wie z.B. Baumarten, in gestalterischen Varianten auf, die das inhaltliche Thema visuell transportieren. [Skizzen angelehnt an Original-Konzepte aus (BradyGames, 2005)]

Das Prinzip, dass die *äußere Welt* durch die *innere Welt* geprägt wird, kommt hier in aller Deutlichkeit zum Einsatz, wobei „innen“ geistige Elemente wie Emotionen, Stimmung, Dramaturgie oder Schicksal meint und sich „außen“ auf die physische Manifestation in Form von grafischer Ausgestaltung, Bewegungscharakteristika oder akustischen Variationen bezieht.

¹⁸ <http://eu.battle.net/wow/de/>

Zur Dynamik interaktiver Medien

Statische Bildmedien (Malerei, Fotografie, Film) unterliegen einer in Drehbuch oder Motiv festgelegten, unveränderlichen Dramaturgie. Dadurch müssen sich sowohl der Autor, der die Inhalte verfasst, als auch der ausführende Gestalter, zu einem festen Produktionszeitpunkt auf die konkrete Ausgestaltung festlegen. In Folge weist der Gestaltungsprozess einen zeitlich beschränkten und später unveränderlichen, statischen Charakter auf. Eine besondere Herausforderung für die Überführung dieser bildgestalterischen Methoden in die Informatik findet sich darin, dass sich in interaktiven Medien die Dramaturgie durch Echtzeitdynamik und Anwenderinteraktion permanent und unvorhersehbar ändern kann. Bei Betrachtung kommerzieller Computerspiele entsteht jedoch der Eindruck, dass sich die mediale Inszenierung der Inhalte in der Praxis häufig auf einen einmaligen initialen Erstellungsvorgang beschränkt, woraus ein statisches Design für das eigentlich dynamische Produkt resultiert. Wesentlich konsequenter wäre jedoch, auf die veränderliche inhaltliche Dramaturgie während des Spielerlebnisses in Echtzeit zu reagieren und somit die inhaltliche Änderung auch visuell zu kommunizieren.

Abb. 34 zeigt den klassischen Gestaltungsprozess: Gestalter entscheiden zunächst über die inhaltliche Dramaturgie ihrer grafische Darstellung. Dies geschieht nur einmalig zum Zeitpunkt der Projekt-Erzeugung. Das grafische Material kann und soll sich zu späteren Zeitpunkten nicht mehr ändern.

In interaktiven Medien hingegen (Abb. 35), kann sich die Dramaturgie permanent verändern, nur bedingt vorhersehbar und abhängig von der Benutzer-Interaktion. Daraus entsteht die Notwendigkeit, dass der Autor die Gestaltung immer wieder an den momentanen Zustand der inhaltlichen Dramaturgie anpasst, was wiederum eine visuelle Rückmeldung erzeugt, die den Anwender zu weiteren Aktionen motivieren kann. Da in der Praxis natürlich keine reale Person permanent und in Echtzeit die Gestaltung eines Produkts, z.B. eines Computerspiels, anpassen kann, definiert der Gestalter in der Produktionsphase die zulässigen Variationen und Modifikationsvarianten, die anschließend von einem Computerprogramm während der Programmlaufzeit ausgewählt und angewendet werden.



Abb. 34: Der Künstler definiert die Ausgestaltung in klassischen Medien wie Bildern oder Filmen einmalig in der Produktionsphase. Das Design ist entsprechend statisch und verändert sich nicht mehr. [Malerei: Friedrich 1830. Clipart: Zacharzewski 2008, 2009]

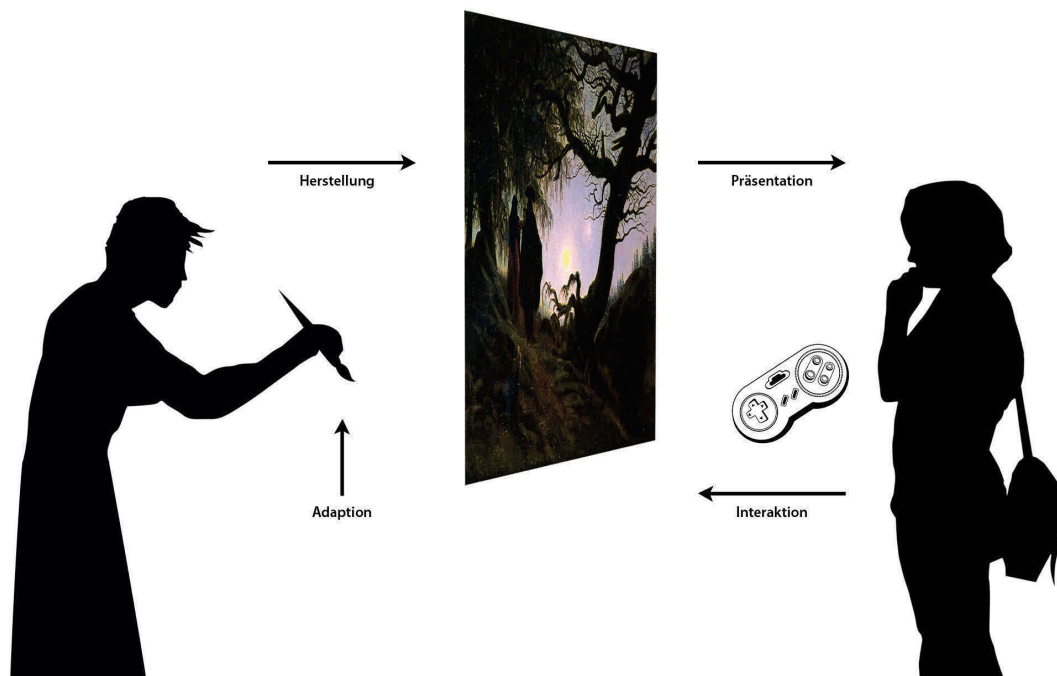


Abb. 35: In interaktiven Medien, wie z.B. Computerspielen, nimmt der Spieler während des Konsums Einfluss auf den Inhalt, wodurch sich die Dramaturgie ändert. Die gestaltende Partei muss entsprechend reagieren und die visuelle Dramaturgie den Inhalten immer wieder angleichen. [Malerei: Friedrich 1830. Clipart: Vohsen 2008, Zacharzewski 2008, 2009]

Kommerzielle Ansätze

Erste kommerzielle Ansätze zur Umsetzung dynamischer Visualisierung finden sich beispielsweise in den Spielen *FABLE*¹⁹ und *INFAMOUS*²⁰, in denen versucht wird, die Handlungsmoralität der Spielerentscheidungen in Echtzeit grafisch zu reflektieren.

Das in der *FABLE*-Reihe eingesetzte Gewichtungssystem („Alignment“) sieht zunächst einen einfachen Entscheidungsspielraum zwischen *gut* und *böse* vor, anhand dessen die Handlungen des Spielers bewertet werden. Das grafische Aussehen des Charakters variiert infolge zwischen menschlich und dämonisch. Zusätzlich richten sich körperliche Attribute wie *schlank* - *übergewichtig*, *jung* - *alt* oder *attraktiv* - *hässlich* nach bestimmten Handlungen, wie z.B. Nahrungsaufnahme oder körperlichen Anstrengungen²¹. In den Fortsetzungen wurde dieses adaptive System um zusätzliche Gewichtungen erweitert: *lustig* - *erschreckend*, *Liebe* - *Hass*, *gesund* - *krank*, *stark* - *schwach*, *groß* - *klein*. Während diese Attributpaare stark beeinflussen, wie Nichtspielercharaktere auf die Spielfigur reagieren, hat das ebenfalls neue Konzept *Reinheit* – *Verdorbenheit* unmittelbaren Einfluss auf die grafische Gestaltung der Figur. Moralisch verwerfliches Verhalten wie Alkoholismus, Prostitution und Betrug stehen dabei Vegetarismus, einem geregelten Familienleben und Großzügigkeit gegenüber. Tabelle 2 zeigt wie sich dies in Kombination mit der *gut-böse*-Wertung auf das Aussehen der Figur niederschlägt (Fable-Wiki, 2014).

Der trickfilmartig abstrahierte Stil von *FABLE* erlaubt extreme Transformationen des Charakters bis hin zur Verwandlung in ein Fantasiewesen ohne an Glaubwürdigkeit zu verlieren. Visuelle Adaption lässt sich aber auch einsetzen, wenn die Gestaltung realitätsnah ausgerichtet ist, wie es im Fall der Spielserie *INFAMOUS* der Fall ist. Auch hier sind moralische Spielentscheidungen zu treffen, die in einem visuell reflektierten „Karma“-Wert resultieren. Neben einigen offensichtlichen Variationen, die vor allem farbliche Varianten von Spezialeffekten betreffen, werden zugunsten des Realismus subtile grafische Veränderungen an den Karma-Wert gebunden. So verfärbt sich die Kleidung geringfügig heller oder dunkler, ebenso wie Hautunreinheiten und Schattierungen unterschiedlich stark hervortreten. Die Figur „Delsin“ trägt zudem eine Weste, auf deren Rückenpartie sich ein Emblem befindet, das den Karma-Status visualisiert. Mit einem symmetrischen Abbild einer weißen – das Gute repräsentierenden – und

¹⁹ <http://www.lionhead.com/games/fable/>

²⁰ <http://www.infamousthegame.com/>

²¹ Derartige grafische Beeinflussungen von virtuellen Charakteren wurden u.a. explizit in der Bachelorarbeit von Patricia Kaufmann untersucht (Kaufmann, 2011).

einer roten – das Böse darstellenden – Krähe beginnend, dominiert je nach Karma-Änderung einer der beiden Vögel bis hin zur völligen Unterdrückung des anderen.

Auch das Gameplay unterscheidet sich: In karmisch positiven Zuständen verhält sich die Figur ruhiger und bedachter und bekämpft ihre Gegner fokussiert und akkurat. Andere Charaktere denen die Figur begegnet, reagieren freundlich, bewundernd und respektvoll. Negatives Karma, das vor allem durch eigennütziges, egoistisches Verhalten entsteht, bewirkt aggressive Verhaltensmuster und zerstörerische Angriffe mit gestreuter Wirkung. Andere Charaktere begegnen der Figur abwertend, beschimpfend bis hin zu feindlich. (inFamous-Wiki, 2014)

Good/Evil	Purity	Appearance
High Good	High Purity	No scars, tan skin, halo, blue eyes, blonde hair, glowing white teeth
High Good	Neutral	Green eyes, blonde hair, normal skin
High Good	High Corrupt	Pox marks, bags under eyes, blonde hair, flies, yellow-green eyes
Neutral	High Purity	Glowing white teeth, perfect skin, brown hair, blue eyes
Neutral	Neutral	Brown eyes, normal skin, brown hair
Neutral	High Corrupt	Flies, yellow eyes, unfocused pupils
High Evil	High Purity	Pale-blueish skin, red eyes, no horns (chance of purple eyes)
High Evil	Neutral	Red eyes, greyish skin
High Evil	High Corrupt	Large scars, big horns, glowing green eyes, mortified skin, red aura

Tabelle 2: Gewichtungstabelle mit Wertbelegungen der moralischen Zustände gut/böse/Reinheit und den daraus resultierenden grafischen Effekten [komprimierte Fassung nach (Fable-Wiki, 2014)].

Grafische Adaption bezieht sich in den vorangegangenen Beispielen vor allem auf die Gestaltung von virtuellen Charakteren. Cinematographische Stilmittel umfassen aber noch weitere Bereiche, die Szenerie und Gesamtbild betreffen. Naheliegend ist der Ansatz unterschiedliche Szenenstimmungen durch Rechenverfahren zu überblenden, um so zwischen verschiedenen grafischen Eindrücken ohne Bildschnitt wechseln zu können. *DIABLO III*²² setzt diese Technik beispielsweise ein, um durch Überblendung von Parametern wie Nebelfarbe und -dichte, Lichteinstellungen und Bildfiltern die grafische Stimmung unterschiedlicher Regionen während des Durchquerens von potentiell endlos großen Terrains anzupassen. Weitergeführt versuchen einige Spiele wie z.B. *FAHRENHEIT*²³ und *HEAVY RAIN*²⁴ durch den Einsatz von filmgestalterischen Konzepten sogar explizit den Eindruck eines Spielfilms zu erwecken. Eine echte Transformation zwischen visuellen Extremen realisieren bisher jedoch nur sehr wenige Spiele, wie z.B. *GIANA SISTERS: TWISTED DREAMS*²⁵, in dem sich die Umgebungsgestaltung per Knopfdruck zwischen komplett gegensätzlichen Welten verwandelt.

In allen diesen Beispielen werden Überblendungstechniken vorwiegend eingesetzt, um zwischen alternativen, im Grunde statischen, Einzeleinstellungen zu überblenden. Keines nutzt den Mechanismus einer adaptiven Umgebungsgestaltung um eine vom Spielverlauf abhängige Dramaturgie visuell auszudrücken, wie es bei der Charakter-Adaptionen der Fall ist.

²² <http://eu.battle.net/d3/de/>

²³ <http://www.quanticroam.com/en/game/fahrenheit-indigo-prophecy>

²⁴ <http://www.quanticroam.com/en/game/heavy-rain>

²⁵ <http://gianasisterstwisteddreams.com/>

Computerwissenschaftliche Ansätze

Bereits seit einiger Zeit beschäftigen sich auch Forschungsarbeiten mit interaktiver Cinematography, die maßgeblich z.B. von P. Olivier, M. Christie und M. Seif El-Nazr vorangebracht wurden. So beschrieben Rougvie und Olivier die Personalisierung von Filmvorführungen durch die dynamische Auswahl cinematographischer Stilmittel in Abhängigkeit des momentanen Zuschauerinteresses (Rougvie, et al., 2007).

Im Kontext ausdrücklich *virtueller* Kameras, z.B. für den Einsatz im interaktiven Drama, lassen sich zwei Hauptausrichtungen feststellen, die in den meisten computerwissenschaftlichen Publikationen zum Thema „Cinematography“ vorkommen: Ein Teil fokussiert sich auf die **technischen Implementierungsgrundlagen**, z.B. der Berechnung von Lösungsstrategien für Verdeckungskonflikte und Bewegungsoptimierung. Halper und Olivier beschreiben mehrfach den Einsatz ihrer Software *CAMPLAN*, die unter anderem Kameraeinstellungen findet, die sich an technische Ziele annähert, wie z.B. der Ausrichtung von grafischen Kanten zueinander (Halper, et al., 2000). Christie et. al diskutieren die Herausforderungen, die sich aus dem Verarbeitungsaufwand komplexer Polygonobjekte und der Automatisierung der optimalen Inszenierung derselben ergeben (Christie, et al., 2005; Christie, et al., 2009).

Dem gegenüber steht die Betrachtung der **Kamera als Medium in der Mensch-Maschine-Kommunikation**, bei der die filmgestalterischen Bewertungskriterien zum Einsatz kommen. Jhala und Yannakakis stellen fest, dass der Beziehung zwischen der virtuellen Kamera und den durch sie vermittelten Informationen in der Vergangenheit zunächst kaum Aufmerksamkeit geschenkt wurde und zeigen anhand eines virtuellen Geschicklichkeitsspiels, dass deren Berücksichtigung aber maßgeblichen Einfluss auf die Spielherausforderung hat (Jhala, et al., 2009). Die Algorithmen von Lino et al. analysieren im Kontext des interaktiven Geschichtenerzählens alternative Kameraeinstellungen in Szenen mit komplexen Objekten und Figuren. Dadurch lässt sich die aus Sicht der Filmgestaltung geeignetste Einstellung automatisiert identifizieren (Lino, et al., 2011). Kardan und Casanova stellten eine Methode zur Automatisierung der Kameraarbeit innerhalb einer großen, potentiell schwer überschaubaren Gruppe von virtuellen Charakteren vor. Auf Basis cinematographischer Grundlagen ermöglicht ihre Kameraautomatisierung die zuschauerfreundliche Darstellung von Dialogen zwischen den einzelnen Gruppenmitgliedern (Kardan, et al., 2008).

Eine ähnliche Entwicklung fand im Bereich der virtuellen *Lichtquelle* statt, die, wie auch die virtuelle Kamera, durch ihr parameterbasiertes Naturell geradezu dafür prädesti-

niert erscheint, flexibel zur Laufzeit verändert zu werden. Weil im Regelfall zu einem Zeitpunkt nur eine Kamera aktiv ist²⁶, liegt ein wesentlicher Unterschied jedoch darin, dass mehrere Lichtquellen gleichzeitig zum Einsatz kommen können, woraus sich entsprechend komplexere Verwaltungsaufgaben ergeben. In der Beleuchtungstheorie gilt der Einsatz von mehreren Lichtquellen, arrangiert z.B. nach dem populären 3-Punkt-Modell (Abb. 36), fast schon als obligatorisches Qualitätsmerkmal²⁷, was sich an der Lesbarkeit des Bildes²⁸ misst. Der Einsatz einer einzelnen Lichtquelle bildet, genau umgekehrt zur Kameratheorie, die Ausnahme, da er besonders expressiv, dramatisch und tendenziell künstlich wirkt. Lichter unterscheiden sich untereinander zudem in ihrer Erzählkraft und sind daher nicht grundsätzlich gleichwertig, sondern, im Gegenteil, in angemessene Spannungsverhältnisse zu setzen. Sie eignen sich daher einerseits zur grafischen Harmonisierung, andererseits aber auch zum gezielten Lenken der Zuschaueraufmerksamkeit. Abermals versucht man hier Erkenntnisse und Theorien aus früheren Domänen wie der Filmtechnik auf das ComputermEDIUM zu übertragen. *PIXAR*-Mitarbeiter Ronen Barzel schrieb 1997 etwa, dass die technischen Möglichkeiten und gängigen Implementierungen zu dieser Zeit in ihrer Entwicklung noch hinter den tatsächlichen Anforderungen der Filmgestaltung lagen (Barzel, 1997). Er begründet dies anhand konkreter Beispiele von Licht-Modellen, wie sie im traditionellen Filmhandwerk zum Einsatz kommen und erläutert die technischen Ansätze, die einer Softwareimplementierung zugrunde liegen. Seinerzeit wurden diese Anforderungen aus dem konkreten Bedarf heraus für die Produktion von Animationsfilmen wie „*TOY STORY*“ in den hausinternen Standard *RENDERMAN*²⁹ integriert. Mittlerweile hat sich jedoch Barzels Wunsch nach Etablierung der cinematographischen Methoden zum Standard erfüllt: Parameter wie Lichtkegelformen, Texturprojektionen, volumetrische Lichtstrahlen oder weiche Schattenkanten sind heute in praktisch allen gängigen Visualisierungswerkzeugen³⁰ vorhanden.

²⁶ Ausnahmen bilden z.B. Splitscreen- und Multiangle-Darstellungen, die mehrere unterschiedliche Perspektiven in ein Gesamtbild integrieren.

²⁷ Gleichwohl weist Birn darauf hin, dass Lichter nicht rein der Quantität halber gesetzt werden dürfen, sondern sich der Beleuchter über die Bedeutung jeder Lichtquelle als gestalterisches Werkzeug bewusst sein muss (Birn, 2006 S. 134).

²⁸ Im Kontext der Ausleuchtung verbessert sich die Lesbarkeit des Bildes z.B. durch per Licht und Schatten erzeugte Kontraste, dadurch entstehende Konturen und Abgrenzungen, sowie dem grafischen Vermitteln von Plastizität und Räumlichkeit im zweidimensionalen Bild.

²⁹ Zunächst nur intern verwendet, wurden Spezifikation und Software inzwischen kommerzialisiert. Durch die daraus folgende Nutzung durch andere Filmstudios gehört das Paket heute zum Industriestandard der Animationsfilmbranche. Produktseite: <http://renderman.pixar.com>

³⁰ Gemeint sind sowohl grafische Anwendungen (z.B. Blender, Maya, 3ds max, ...) als auch Bibliotheken für die Softwareentwicklung (z.B. DirectX, OpenGL, etc.).

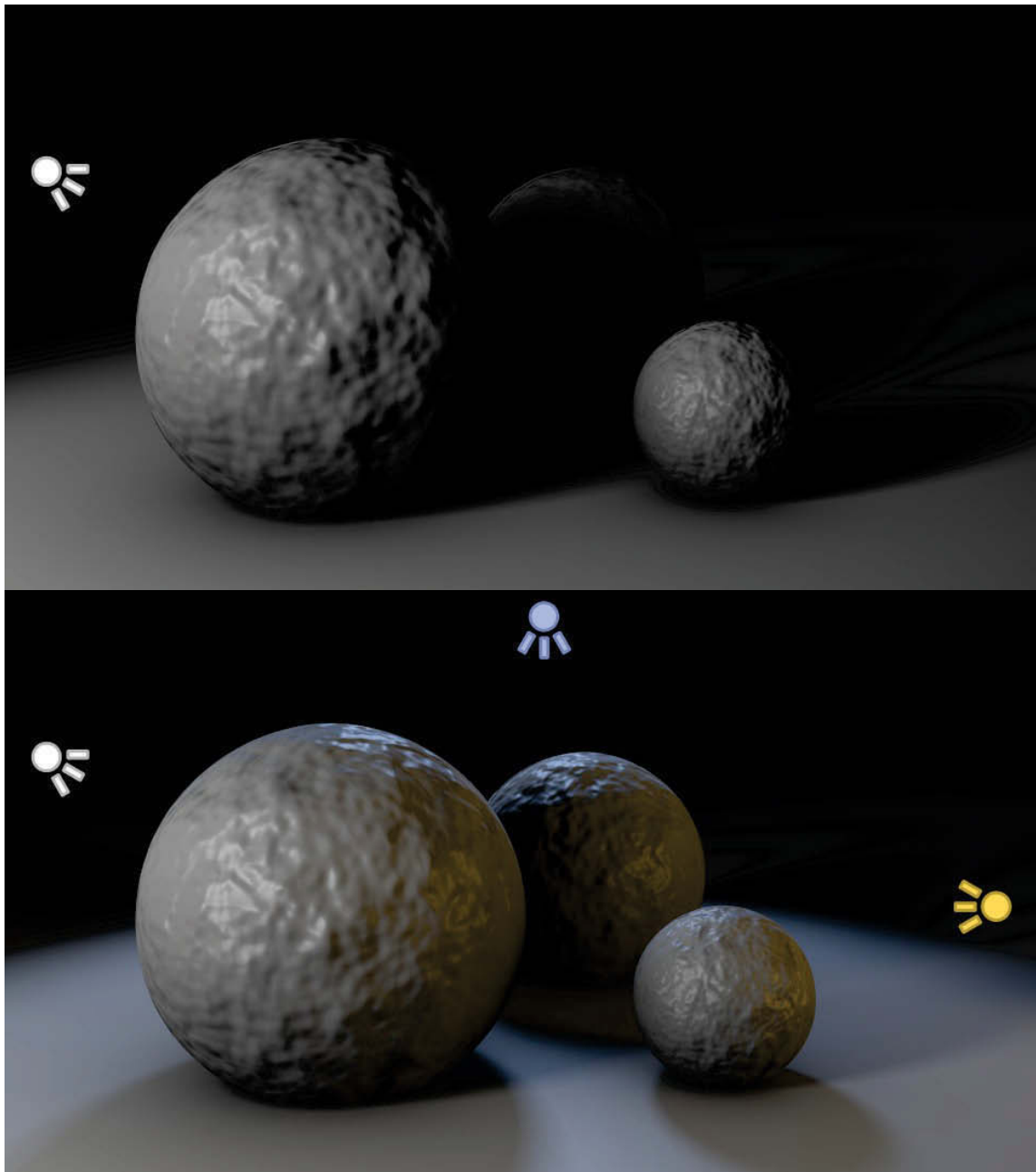


Abb. 36: Einzelne Lichtquellen (oben) erzeugen extreme Kontraste und wirken surreal. Das Drei-Punkt-Beleuchtungsmodell (unten) setzt drei Lichtquellen ein, die sich in Ausrichtung, Farbe und Helligkeit unterscheiden. Ursprünglich aus dem Theaterwesen kommend, lässt es sich auch auf virtuellen Bühnen einsetzen, um die grafische Plastizität zu verbessern, Objekte zu konturieren und voneinander abzugrenzen. [Frei nach (Birn, 2006 S. 131 ff.; Bordwell, et al., 2010 S. 134-135)]

Nichtsdestotrotz liegt die Verantwortung über Erfolg oder Misserfolg der Gestaltung zuletzt aber in den Händen der ausführenden Person. Papier und Bleistift stellen für jeden Zeichner die selbe technische Grundlage zur Verfügung. Ob jedoch ein unansehnliches Gekritzeln oder ein beeindruckendes Kunstwerk gezeichnet wird, liegt an Erfahrung, ästhetischem Gespür und anderen Faktoren des Zeichners. Dabei findet während des Prozesses ein ständiges Bewerten, Korrigieren und Erweitern statt. In der virtuellen Lichttechnik ist daher die Folge, dass der Gestalter ebenfalls Lichtquellen setzt und konfiguriert, um anschließend das Ergebnis zu prüfen und den Vorgang iterativ zu wiederholen. Diesen Effekt meinen Olivier et al., wenn sie zum Thema „intelligente Komposition von Lichtquellen in Computergraphiken“ schreiben, dass Licht-Design ein sehr manueller Vorgang sei. In der weiteren Analyse wird die Erkenntnis hervorgehoben, dass handwerkliche Gestaltungsvorgänge letztlich bedeuten, über die Belegung von Parametern und Werten interaktiv und während des Gestaltungsprozesses zu entscheiden (Olivier, et al., 2009). Was für den Bleistift Druck, Geschwindigkeit und Winkel auf der Papieroberfläche sind, sind Farbe, Helligkeit und Richtung für die Beleuchtungstechnik.

Weil diese Entscheidung über die geeignete Wertebelegung schwierig ist, zumal „der Vorgang sowohl technisches als auch ästhetisches Verständnis erfordert“ (Olivier, et al., 2009), ist der Versuch dies zu automatisieren und somit dem Anwender abzunehmen, ein in der Computerwissenschaft häufig zu findender Ansatz. So sieht die Software *CAMEO* von Shim et al. z.B. die Definition von Inszenierungsstilen vor, die von einer die Umgebung verwaltenden Komponente in grafische Parameter übersetzt werden (Shim, et al., 2008). Zupko und Seif haben sich in mehreren Publikationen mit verschiedenen Teilaspekten der automatisierten Beleuchtungssteuerung befasst. Ihre Projekte *ELE* (Expressive Lighting Engine) und *SAIL* (System for Automated Interactive Lighting) definieren automatisch Parameter wie Anzahl, Position und Farbe von Lichtquellen in virtuellen Szenen zur Bereicherung des Spielerlebnisses (Seif El-Nasr, 2005; Seif El-Nasr, et al., 2005; Zupko, et al., 2009). Dabei berücksichtigen sie Bildgestaltungsmethoden wie den Einsatz von Licht zur Verbesserung der räumlichen Tiefenwahrnehmung. Obwohl das System überzeugende Ergebnisse liefert, kann eine Restverantwortlichkeit dem Autor nicht vollständig genommen werden. Das automatische Ausleuchten von Gesichtern virtueller Charaktere wird beispielsweise als besonderes Leistungsmerkmal beschrieben, jedoch kann dies je nach Inszenierung und subjektiver Beurteilung sogar unerwünscht sein. Es scheint daher sinnvoll, die Beleuchtungskomponente mit anderen Modulen zu kombinieren, so dass die Gesichtsausleuchtung z.B.

nur in Nahaufnahmen³¹ angewendet wird, wo sie hilfreich und wichtig erscheint. Ein entsprechendes Paket bietet Seif selbst an. Ihre „Interactive Narrative Architecture based on Filmmaking Theory“ (Seif El-Nasr, 2004) steuert die visuelle Repräsentation aufgrund von dramaturgischen Faktoren auf den Ebenen Kamerabewegung, Lichtmodulation und Figurenbewegung. Kennedy und Mercer stellten zuvor ein ähnliches System für einen Raytracer vor, dessen Szenenbeschreibungsdatei sie aufgrund der Auswertung einer rhetorischen Struktur unter Gesichtspunkten der Filmgestaltung generierten (Kennedy, et al., 2002a). Dabei wurden Licht, Kamerabewegung, Bildausschnitt, Farbwahl und Montage berücksichtigt.

4.1.4 Ziele und Herausforderungen

Aus dem Anspruch inhaltliche und nonverbale Dramaturgie zu synchronisieren, ergeben sich einige Ziele und Fragestellungen für die Informatik:

Erhöhen der Lebendigkeit virtueller Dramen. Die Umsetzung virtueller Dramen leidet in vielen Fällen an einem Mangel an Abwechslung und Dynamik. So werden etwa Dialogszenen in *totaler*³² Bildeinstellung gezeigt, ohne dass sich die Kamera während der gesamten Spieldauer jemals ändern würde. Kombiniert mit minimalen Charakteranimationen, die sich womöglich auf die Lippenbewegung des aktiven Charakters beschränken, entstehen so extrem statische Bildfolgen, die sich nur in wenigen Pixeln unterscheiden. Entsprechend schwierig ist es, das Zuschauerinteresse aufrecht zu halten. Der Einsatz cinematografischer Gestaltungsmittel kann daher helfen, die Dynamik, Lebendigkeit und „emotionale Tiefe“ (Seif El-Nasr, et al., 2001) der Inszenierung zu steigern. Ziel ist hierbei also, die Illustrationscharakteristik zu einem filmischen Erlebnis hin zu verändern.

Komplettierung bestehender Inszenierungen. Der Mangel an Unterhaltungswert scheint vor allem in Forschungsprojekten oft darauf zurückführbar zu sein, dass das Hauptaugenmerk auf eine isolierte Forschungsfrage gelegt wird. In der Illusion, dass andere Dinge wie die Präsentation weniger wichtig seien, werden Theorien in technischen Details implementiert und anschließend an Versuchsteilnehmern getestet. Ganz im Gegenteil ist jedoch die visuelle Komponente in Ihrer Funktion als unmittelbare Schnittstelle aber besonders wichtig, wenn es um die Auswertung erfragter und nicht gemessener Ergebnisse geht. Da sie, im Gegensatz zu unsichtbaren Hintergrundalgorithmen, vom Anwender wahrgenommen wird, beeinflusst die visuelle Repräsentation

³¹ also in Kopplung mit der Kameraverwaltung

³² Filmbegrifflich: Weitläufige Bildeinstellung, die die gesamte Szene in einem Bild zeigt.

maßgeblich die subjektive Produktbewertung. Im Prinzip kann in vielen Fällen jedoch bereits eine Weiterführung dessen, was bereits vorhanden ist, helfen, die grafische Gestaltung zu verbessern. So werden beispielsweise Dialoge, Reaktionen und Animationen virtueller Agenten anhand von Emotionsmodellen oder anderen dynamischen Werten gesteuert. Diese Einflussgrößen ließen sich in vielen Fällen mit filmtechnischen Konzepten verknüpfen, so dass die Qualität des virtuellen Dramas als kurzweiliges Unterhaltungsmedium zur Geltung kommt.

Automatisierte Anwendung cinematografischer Stilmittel. Eine zuvor bereits ange-deutete Herausforderung liegt darin, geeignete Filmgestaltungsmittel automatisch anhand inhaltlicher Elemente, z.B. Handlungssträngen, zu generieren. Dabei ist eine Kernfrage, wie dramaturgische Bewertungen überhaupt maschinell formuliert werden können, so dass eine Auswertung durch die Visualisierungskomponente stattfinden kann. Kennedy und Mercer (Kennedy, et al., 2002a; Kennedy, et al., 2002b) definieren dafür beispielsweise zunächst Ziele, wie z.B. eine gewünschte Grundstimmung der Szene oder Rollenbeziehungen zwischen Charakteren. Anschließend bildet ihre Planungskomponente die rhetorische Beziehung zwischen Inhalt und grafischem Stilmittel mithilfe der *Rhetorical Structure Theory* (Mann, et al., 1988) auf eine technisch ausführbare Sequenz ab. Seif (Seif El-Nasr, 2004) konzentriert sich auf die Textstrukturierung in Form von Storybeats, der Unterteilung in die kleinsten bedeutungsunterscheidenden Elemente, ähnlich wie es Mateas und Stern in ihrem interaktiven Drama „Façade“ zeigten (Mateas, et al., 2000). Tomlinson dagegen gründet sein cinematografisches System auf ein Emotionsmodell, bei dem jeder Akteur in der Szene seinen momentanen Gemütszustand an eine administrative Komponente berichtet, die dann über die konkrete Anpassung von Licht und Kamera entscheidet (Tomlinson, 1999).

4.2 Abgrenzung und Ansatz

Der im Folgenden vorgestellte Ansatz grenzt sich in zwei Kernpunkten von den bestehenden Forschungsarbeiten ab:

Gestalterische Entscheidungen nicht abnehmen, sondern unterstützen. Einige Forschungsarbeiten³³ versuchen, dem Anwender die Entscheidungen des Gestalters durch Entwicklung von Automatisierungen abzunehmen und so den Produktionsprozess zu vereinfachen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist dagegen nicht, die Expertenrolle auf- oder abzulösen, sondern den Autor dabei zu unterstützen, Echtzeitdynamik und Interaktion im grafischen Design zu realisieren. Der Ansatz knüpft daher an ästhetische Ziele an, wie sie etwa von Seif et al. verfolgt werden.

„Formensprache“ als Ergänzung des bestehenden Inszenierungsrepertoires. Weil die Themen Kamera und Beleuchtung bereits umfangreich behandelt wurden, soll das Hauptaugenmerk in dieser Arbeit auf eine noch kaum erschlossene Gestaltungskomponente gelenkt werden, die somit einen weiteren Baustein zu Vervollständigung von Inszenierungswerkzeugen bildet. In Rückbesinnung auf die Interpretation von grafischen Eindrücken als Informationsträger wird behandelt, wie sich das grundlegende Gestaltungsprinzip der Formgebung selbst als Mittel zum Transport von dynamischer Dramaturgie eignet. Dieser Themenbereich knüpft an die Idee des „Mise en Scène“, also der Inszenierung von Objekten auf der Bühne, an. Wie sich an der Betrachtung der kommerziellen Spiele gezeigt hat, bildet die dynamische Gestaltung der Szenerie auf Basis dramaturgischer Motive bisher eine Nische. Der Ansatz adaptiver Formsprache füllt diese und reiht sich in die bestehende rechnerische Lösung von Szenenübergängen sowie die dramaturgischen Adaptionen von virtuellen Charakteren ein.

³³ z.B. (Olivier, et al., 2009)

4.3 Formensprache als Kommunikationselement

Führt man den Gedanken der Adaption weiter, so finden sich neben den bereits genannten Kamera- und Lichteffekten weitere Gestaltungsoptionen, wie beispielsweise die **Formensprache**. Die genaue Definition des Begriffs variiert zwischen den Quellen und Kontexten, in denen er auftaucht. So umfasst die „Formensprache“ im Duden das gesamte Ausdrucksrepertoire eines Künstlers oder einer Epoche wodurch ihr eine beinahe synonyme Bedeutung zu „Handschrift“ oder „Stil“ zugeschrieben wird (Duden, 2013). Innerhalb der vorliegenden Arbeit ist mit „Form“ jedoch die konkrete Kontur, Silhouette oder räumlichen Präsenz gemeint. Eine „Sprache“ findet sich in der Auffassung, dass die äußere Form eines Objekts Rückschlüsse auf dessen Inhalt und Bedeutung suggeriert und damit essentiell zum Verständnis beiträgt. Im zugrundeliegenden Verhältnis von „Form und Inhalt“ heißt dies im Umkehrschluss bei Wetzels auch, dass „jede Mitteilung auf ein Medium angewiesen“ ist (Wetzels, 2007 S. 153-155). Die grafische Form wird hier zum Medium einer zu vermittelnden Nachricht. Darin wiederum findet sich eine Nähe zu symbolischen und semantischen Eigenschaften von Gestaltung. Bürdecks „Produktsprache“ etwa, schreibt Produkten eine durch die äußere Gestalt transportierte Bedeutung jenseits der eigentlichen Funktionalität zu (Bürdek, 2013).

Die im Folgenden verwendete Interpretation der Formensprache lässt sich im Bereich von Bildhauerei und Architektur veranschaulichen, wo sie die Rolle des Pinselstrichs übernimmt und im Zusammenspiel mit Licht und Schatten maßgeblich sichtbare Konturen, Flächen und die Wirkung des Werkes prägt. Die Verwandtschaft zur computertechnischen Modellierung von Drahtgittermodellen im dreidimensionalen Raum ist naheliegend. Allgemein gilt das Prinzip von Formeindrücken aber auch für jede zweidimensionale Figur, die letztendlich eine Abbildung von räumlicher Form ist. Prägende Formen lassen sich an unterschiedlichen Stellen einsetzen. Sie finden sich nicht nur in der inhaltlichen Manifestation von Körpern im Raum, sondern beispielsweise auch in der Komposition von Bild und Szene³⁴.

Die alternativen Darstellungen der selben Landschaftsszene in Abb. 37 skizzieren die beiden dramaturgiebasierten Visualisierungskomponenten Inbildsetzung und Formensprache. Der Bildaufbau, d.h. der gewählte Bildausschnitt und die damit einhergehende Platzierung der Elemente im Bild, führt zu einem starken Gefälle und verleiht dem Berg eine dominante Rolle. Derartige Kompositionsprinzipien werden häufig in statischen Medien eingesetzt in denen der Bildausschnitt für den Designer vorhersehbar

³⁴ vgl. „Mise en Scène“ und „Mise en Cadre“ der Filmgestaltung.

ist. In interaktiven Medien wird häufig eine frei bewegliche Kamera verwendet, die die Ego-Perspektive des Spielers zeigt oder der frei beweglichen Spielfigur folgt. Dabei ist die gezielte Steuerung des Bildaufbaus sehr schwierig, da der Bildausschnitt von der Spielerinteraktion abhängt. Weil die Kamera hier einerseits hochdynamisch agiert und andererseits Teil der Spielmechanik ist, hat ihre Funktion eine höhere Priorität als das Erzeugen einer ästhetischen Bildeinstellung. Es wäre insbesondere bei der Ego-Perspektive eine schlechte Designentscheidung, letztere erzwingen zu wollen, da dies die Funktion einschränken und damit das Spielerlebnis stören würde.

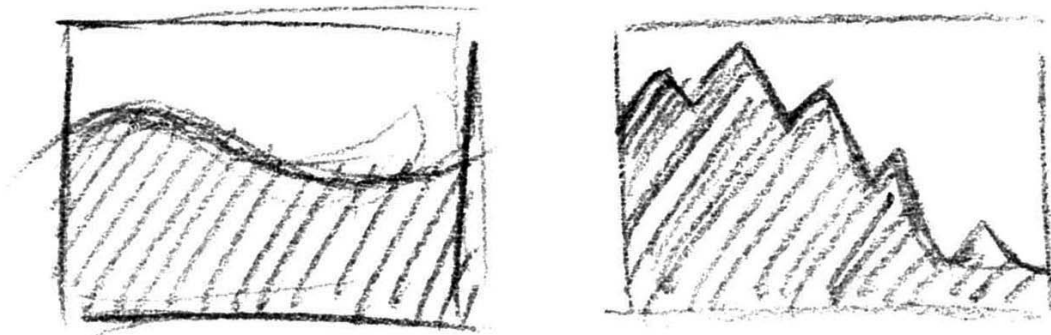


Abb. 37: Grobe Skizze zweier alternativer Inszenierungen einer Bergszene. Im linken Bild entsteht eine gleichmäßige Verteilung der oberen und unteren Fläche. Im rechten Bild wurde der Bildausschnitt so gewählt, dass die Schroffheit des Berges durch ein visuelles Übergewicht in der linken Bildseite liegt. Zudem unterscheidet sich die Formensprache des Objekts selbst: Weiche Formen links unterstreichen Harmonie, während spitze Formen im rechten Bild Spannung erzeugen.

Abb. 37 zeigt auch die unterschiedliche Erscheinung des Objektkörpers als solchen, dem Subjekt der „Formensprache“. Während in der links abgebildeten Version harmonische runde Formen verwendet wurden, erscheint der Berg in der rechten Abbildung schroff und feindlich. Diese Aspekte sind von der Kameraführung weitestgehend unabhängig³⁵ und lassen sich zunächst für jedes Objekt isoliert betrachten. In Abb. 33 (Seite 61) wurden Variationsmöglichkeiten konkreter Spielobjekte am Beispiel von Bäumen im Spiel *WORLD OF WARCRAFT* gezeigt.

Neuartige Weiterführung in dieser Arbeit

Obwohl diese Varianten noch statischer Natur sind, d.h. sie wurden nur zum Zeitpunkt der Spielentwicklung berücksichtigt, enthalten die Entwürfe auch schon Über-

³⁵ Kapitel 8 (Abb. 88, S. 194) zeigt, wie der Blickwinkel auf ein Objekt dessen Kontur und damit die Aussagekraft beeinflusst.

gangsstufen (Abb. 33 C,D,E auf Seite 61). Die im Folgenden beschriebene und in die dieser Arbeit untersuchte Theorie setzt an diesem Punkt an und versteht derartige Abstufungen nicht mehr als unabhängige Alternativen, sondern als Schritte einer Sequenz. Infolge entsteht eine Skala von Transformationsgraden, die nahtlos unterschiedliche grafische Aussagen anteilig anwenden kann. Da dies in Echtzeit möglich ist, setzt dieses Verfahren das zuvor beschriebene Ziel um die grafische Präsentation während der Ausführungszeit flexibel an Dynamik und Nutzerinteraktion anzupassen, so dass eine veränderte inhaltliche Dramaturgie auch visuell wiedergegeben wird. Diese zur Laufzeit in ihrer dramaturgischen Wirkung veränderlichen Visualisierungen seien im Folgenden als „**adaptives Bildmaterial**“ (**Adaptive Art**) bezeichnet.

4.4 Technischer Ansatz

Die Realisierung von adaptiven Visualisierungen bringt nicht nur auf konzeptueller, sondern auch auf technischer Seite einige Herausforderungen mit sich. Diese können wiederum nach dem Prinzip des Konstruktionsmusters *Modell-Präsentation-Steuerung* kategorisiert werden:

- **Bildverarbeitung (Präsentation):** Durch die Wahl geeigneter technischer Mittel muss eine Grafik generiert werden, die, unter Berücksichtigung künstlerisch sinnvoller Beschränkungen, veränderliche inhaltliche Aussagen zu jedem Ausführungszeitpunkt nonverbal kommunizieren kann.
- **Formulierung von Dramaturgie und Inhalt (Modell):** Um überhaupt etwas visualisieren zu können, ist eine strukturierte Definition und technische Umsetzung des Erzählsubjekts erforderlich. Es stellt sich die Frage, wie Stimmung, Emotion oder Dramaturgie technisch formuliert werden können.
- **Dynamik und Interaktion (Steuerung):** Schließlich ist die Verbindung von Daten und Visualisierung umzusetzen, um einerseits den aktuellen Zustand des Datenmodells sichtbar zu machen und andererseits Benutzereingaben und Ereignisse auf eine Änderung des dramaturgischen Modells abzubilden.

Nachfolgend wird in diesem Zusammenhang ein Szenario vorgestellt, in dem die formgestalterische Erscheinung von Objekten zur Laufzeit an eine von der Benutzerinteraktion direkt abhängige Dramaturgie gekoppelt wird. Dem Motiv der vorliegenden Arbeit folgend, steht dabei die Visualisierungskomponente im Vordergrund, während sich der Modell-Steuerungsteil auf einen Machbarkeitsnachweis beschränkt.

Folgende Elemente sind für die minimale Umsetzung des Konzepts erforderlich:

1. Implementierung dynamisch veränderbarer Grafikobjekte
2. Interaktionsmöglichkeit, durch die sich die Dramaturgie dynamisch ändert
3. Bindung der Stimmung an die visuelle Rückmeldung

4.4.1 Implementierung der Formsprache mittels Shapekeys (Präsentation)

Das Ziel bei der Umsetzung einer Demo-Software für dynamische Formsprache war, die Idee adaptiver Spielgrafik prägnant und effektiv zu vermitteln. Als Grundlage für das zu visualisierende inhaltliche Spektrum dient ein einfaches interaktives Szenario, das an virtuelle Welten interaktiver Dramen angelehnt ist. Eine Herausforderung für eine solche unterhaltsame und vielseitig wandelbare Kulisse liegt im Anspruch, zugleich stimmungsvoll und kurzweilig, aber auch flexibel genug für unterschiedlichste Stimmungen zu sein. Das Spielerlebnis darf nicht von vorn herein stark polarisieren, aber auch nicht zu neutral erscheinen, um die dramaturgische Interaktivität zu gewährleisten.

Um sicherzustellen, dass die dynamisch entstehenden Formen erzählerisch sinnvoll bleiben, findet im Szenenaufbau keine vollkommen generische Lösung Verwendung. Statt dessen wird zunächst nur das Spektrum an dramaturgischen Aussagen erweitert, das ein Objekt visualisieren kann. Dafür wird an Ansätzen des *Interactive Storytelling* angesetzt, bei denen der Spieler die Möglichkeit hat, in gewissem Umfang Einfluss auf eine von Autoren definierte Basishandlung und -umgebung zu nehmen. Ähnlich wie der Geschichtenschreiber auf inhaltlicher Seite einen erzählerischen Leitfaden sowie Rahmenbedingungen definiert, wird nun auf Seite der Gestaltung verfahren, in dem der Künstler das grundsätzliche Aussehen eines Objekts sowie einen Wertebereich an zulässigen Veränderungen definiert.

Zu diesem Zweck lässt sich das technische Prinzip *ShapeKeys* nutzen, da es derartige Änderungen bereits implementiert. *ShapeKeys* sind ein gängiges Verfahren der 3D-Animation, bei dem verschiedene Zustände und Verformungen gespeichert werden können, in dem die Positionen der Knotenpunkte von Drahtgittermodellen in Speicherzellen abgelegt werden (Abb. 38).

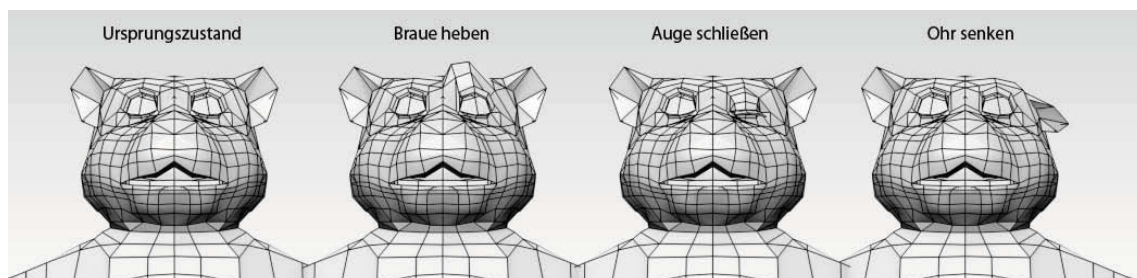


Abb. 38: Die zu verändernden Partien eines 3D-Modells werden im Ursprungsmodell in einen neuen Zustand verformt. Diese Veränderung wird als Shapekey-Datensatz gespeichert. Später lassen sich Mittelwerte zwischen dem Ursprungszustand und der modellierten Verformung interpolieren, wodurch eine Beweglichkeit auf Polygonnetzebene erreicht wird.

Die besondere Stärke dieser Speicherblöcke liegt in der Möglichkeit, die Verformungen prozentual anzuwenden und den Grad der Anwendung zu verschiedenen Zeitpunkten einer Animation zu speichern. Durch die Verrechnung von mehreren anteiligen Anwendungen dieser Gitterverformungen, lassen sich glatte Überblendungen realisieren, was das Verfahren vor allem im Bereich der Mimik- und Gesichtsanimation populär gemacht hat. Abb. 39 zeigt verschiedene, mit *ShapeKeys* realisierte Gesichtsausdrücke eines virtuellen Charakters aus dem *DYNALearn*-Projekt.



Abb. 39: Beispiel unterschiedlicher Gesichtsausdrücke, die mittels *ShapeKeys* realisiert wurden.

Zur Implementierung der adaptiven Formensprache wurden nun verschiedene Modellzustände in *ShapeKeys* abgelegt. Im Gegensatz zur Gesichtsanimation, bei der es oft um die Darstellung expliziter Aussagen und Ausdrücke geht, soll hier jedoch die subtile dramaturgische Aussagekraft beeinflusst werden. Die Animierbarkeit dieser Technik wird zudem nicht für sichtbare Bewegungen eingesetzt, sondern um weiche Übergänge zum Zeitpunkt einer dramaturgischen Veränderung in der Szene zu realisieren.

Eines unserer³⁶ ersten Testobjekte orientierte sich an dem in Abb. 33 skizzierten Tannenbaum. Abhängig von der intendierten Stimmung kann der Baum positiv wirken, in dem er stark und gesund aussieht oder negativ, durch ein krankes, totes Aussehen. Ähnlich wurde mit weiteren Objekten verfahren, die in ihrer Gesamtheit die Ausstattung für eine virtuelle Landschaftsszene bildeten, durch die der Spieler im Rahmen einer technischen Demo navigiert. Die beiden in Abb. 40 gezeigten Gemälde dienten dabei als Inspiration, in dem sie beide einen Berg in unterschiedlicher Ausprägung und Stimmung zeigen. Es entstanden folglich 3D-Modelle mit zwei Deformationszuständen, von denen der Baum und Berg in Abb. 41 zu sehen sind.

Das Bergmodell weist hauptsächlich runde Formen auf und wirkt glatt. Der Tannenbaum wurde aufgrund seiner natürlichen Form zwar kantig gestaltet, folgt insgesamt aber einer fülligen Darstellung, um Vitalität zu zeigen. In seinem zweiten *ShapeKey*

³⁶ Die technische Demo zu diesem Konzept wurde in enger Zusammenarbeit mit der Praktikantin Emilie Brihi umgesetzt.

erscheint der Berg schroff und kantig, durch einen Schlund an der Bergspitze erinnert er sogar an einen Vulkan. Durch den *ShapeKey*-Mechanismus lassen sich nicht nur die beiden Stimmungsextreme darstellen, sondern auch Übergänge variabel realisieren. So zeigen die mittleren Abbildungen wie das Objekt aussähe, wenn die ShapeKeys zu 50 Prozent angewendet werden. Dramaturgisch kann das auf einer einfachen Positiv-Negativ-Skala beispielsweise bedeuten, dass ein neutraler Zustand durch die gleichmäßige Verteilung von positivem und negativem Gewicht dargestellt wird. Verändert sich die Dramaturgie zum Guten oder zum Schlechten, wird auch der *ShapeKey*-Wert in die eine oder andere Richtung justiert. Auf diese Weise lässt sich die gestalterische Transformation auf numerische Werte abbilden, die sich dann wiederum leicht an Datenquellen binden lassen.



Abb. 40: Beispiele für höchst unterschiedliche Formen und Stimmungen für die Darstellung eines Bergs. [Bilder: Kuindzhi 1890, Friedrich 1823 (Ausschnitt)]

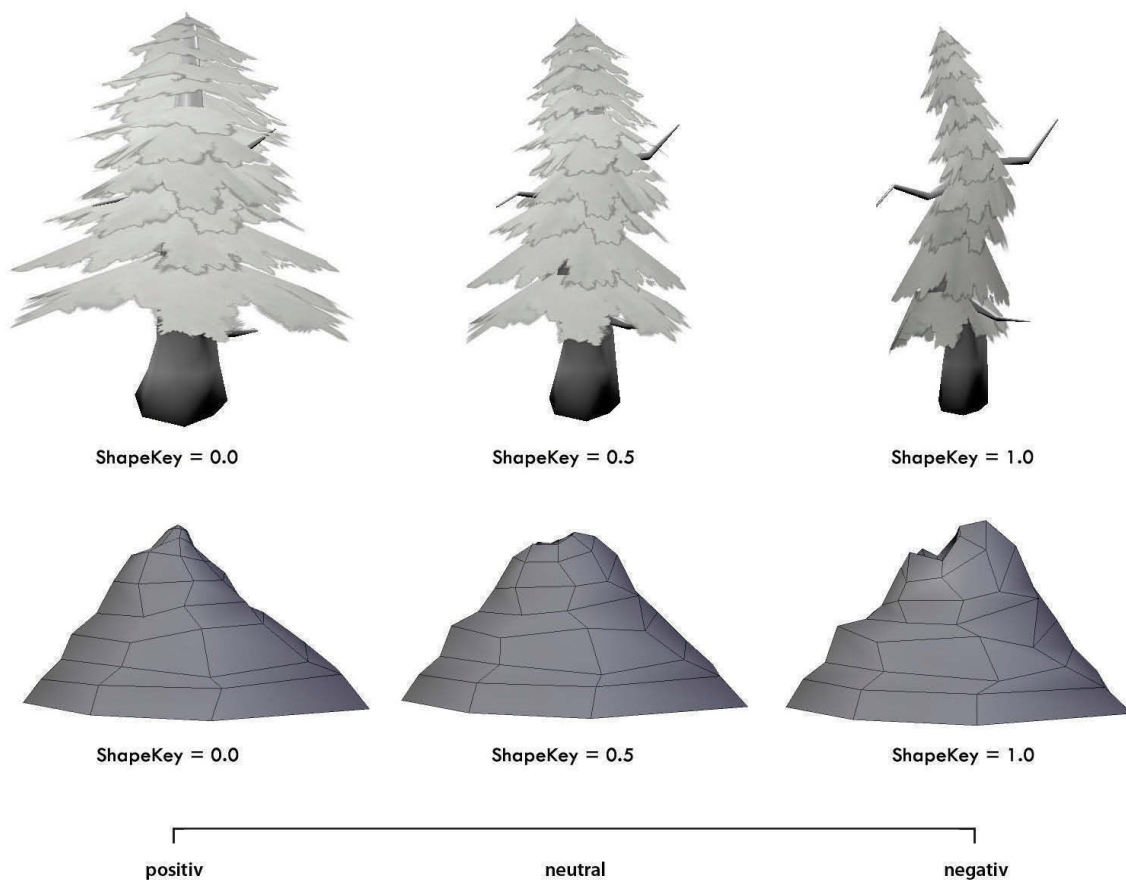


Abb. 41: Anwendung von ShapeKeys zur Änderung der visuellen Stimmung einzelner 3D-Modelle.
[Modellierung: Brihi 2011]

4.4.2 Erweiterung der adaptiven Kanäle (Präsentation)

In einem ersten Testszenario wurden die Umsetzungsmöglichkeiten bewusst auf die Isolation der Veränderung von Formen beschränkt, um der Frage nach zu gehen, wie stark deren Möglichkeiten für dynamische Expressivität sind. Für atmosphärisch dichte Szenarien, wie sie im *Interactive Storytelling* vorkommen, lassen sich weitere Kanäle wie Farbe und Bildbearbeitungseffekte einsetzen, um die Dramaturgie für den Spieler stärker „fühlbar“ zu machen.



Abb. 42: Weiterentwicklung des prototypischen Spielszenarios hin zu einem Grafikfragment mit Symbolcharakter als Datenvisualisierungsmodul.

In Vorbereitung auf den Einsatz als Datenvisualisierungskomponente wurden einige Elemente aus dem prototypisierten Spielszenario herausgegriffen und weiterentwickelt (Abb. 42). Ein Ziel war dabei, ein Grafikfragment zu erzeugen, das nicht mehr das Hineinversetzen und Explorieren einer umfangreichen Spielwelt erfordert, um die visuell ausgedrückten Informationen verstehen zu können. Vielmehr soll es an verschiedensten Stellen im Alltagskontext einsetzbar sein und schnell lesbare Eindrücke der visualisierten Messdaten realisieren.

Komponenten und Übergänge des adaptiven virtuellen Gartens























	gesund	neutral	krank
Shapekey	 ausgedehnt		 gestaucht
Textur	<input type="checkbox"/> Original-Bild		 hinzugefügtes Transparenzmuster
Busch	 volle Größe		 Verkleinerung
Beeren	 volle Größe ^x unsichtbar		
Pilze	 volle Größe ^x unsichtbar		
Blumen	 volle Größe ^x unsichtbar		
Steine			 Unter dem Boden  Über dem Boden
Schlüssellicht		 ein	 aus
Rücklicht		 blau	 weiß
Konturlicht		 enger Winkel, schwach bläulich	 weiter Winkel, intensiv weiß
Akzentlicht A		 oben links, normale Intensität	 unten rechts, verstärkte Intensität
Akzentlicht B		 oben links, normale Intensität	 seitlich links, verstärkte Intensität
Nachbearbeitung	<input type="checkbox"/> Original-Bild		 entsättigtes Bild
Steuer-Wert	10%	20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90%	100%

Abb. 43: Tabellarische Übersicht über die für die Energievisualisierung eingesetzten adaptiven Gestaltungskanäle.

Da sich der Zusammenhang zwischen (hohem) Stromverbrauch und den daraus resultierenden Auswirkungen auf Natur und Umwelt gut durch den verändernden Gesundheitszustand virtueller Pflanzen ausdrücken lässt, wurden vor allem Bäume und Büsche aus den vorhandenen 3D-Modellen zur Weiterentwicklung ausgewählt. Für die Komposition einer grafischen Einheit, die ein Stück Natur ähnlich einem virtuellem Garten darstellt, wurden Erweiterungen auf verschiedenen gestalterischen Kanälen vorgenommen. Der Grundgedanke dynamischer Übergänge findet nun nicht mehr nur auf Ebene der Formgebung statt, sondern auch für Farbigkeit, Beleuchtung und Detailreichtum. Abb. 43 gibt einen Überblick über alle dynamischen Gestaltungskomponenten, die für die Energiedatenvisualisierung mittels adaptiver Grafiken ergänzt wurden.

Formen und Detailmodelle. Aus den vorhandenen Baum- und Buschmodellen wurde zunächst eine Komposition arrangiert, die eine in sich geschlossene grafische Gruppe bildet (zu sehen in Abb. 42). Die weitere Ausgestaltung erfolgte über neue Objekte, deren veränderliche Expressivität über die zuvor beschriebenen *ShapeKey*-Verformungen realisiert wurde. Für einfache Objekte, wie zum Beispiel Blumen oder Pilze, die mit zunehmender Vitalität der Szene aus dem Boden wachsen, lässt sich die Verformung sogar auf eine simple Skalierung reduzieren (Abb. 44). Steine, die als Unruheelement in der abgestorbenen Landschaftsvariante auftauchen, erhalten eine variable Ausprägung durch Überlappung mit der Grundebene. Die Modelle werden in der Szene im Laufe der Transformation nach unten geschoben. Um so positiver die Szenenwirkung wird, um so weiter verschwinden die Steine im Grund.



Abb. 44: Vor allem für einfache grafische Details kann eine simple Skalierung zum Einsatz kommen, um stufenlose Veränderung (hier über 30 Frames hinweg) zu realisieren.

Farbigkeit: Texturen und Bildfilter. Eine der auffälligsten Änderungen gegenüber der Graufstufenversion der Spielszene ist der Einsatz von Farbe. Hierfür wurden die vorhandenen Texturen durch Gradientenabbildung (Abb. 45) eingefärbt und neue Modelle mit farbigen Materialien konstruiert. Damit die Bäume in ihrem schlechten Zustand noch magerer aussehen, ohne aber das eigentliche Modell zu verändern, wurde eine einfache Mustertextur in den Alphakanal des Materials gelegt. Abhängig vom zu visualisierenden Wert wird diese Modifikation der Texturtransparenz stärker oder schwächer angewendet, was zu einem löchrigen oder fülligen Aussehen führt.

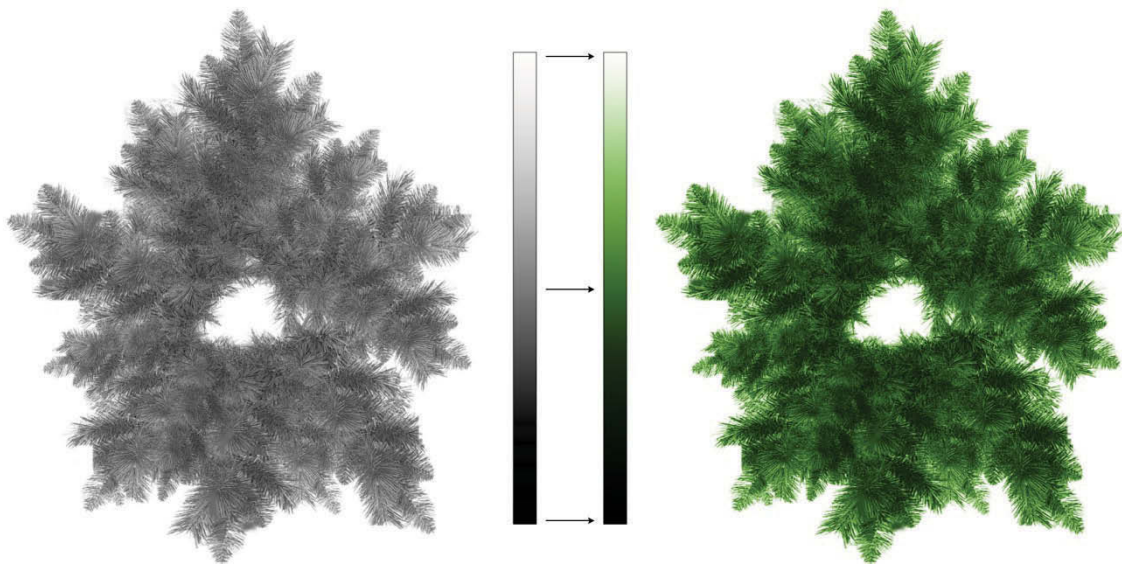


Abb. 45: Eine vorhandene Schwarzweiß-Textur lässt sich durch Abbildung der Graustufen auf eine Farbpalette nachträglich kolorieren.

Ein sattes Grün, wie es in der farbigen Version der Pflanzenmodelle zu finden ist, vermittelt einen gesunden Eindruck. In der kranken Version erscheint dies aber eher kontraproduktiv und sollte daher angepasst werden. Statt die einzelnen Materialien aller Szenenobjekte zu verändern, wurde eine Filterkette aufgebaut, die die Farbinformationen des Bildes abhängig von der Position der zu visualisierenden Werte entsättigt. Die vitalste Darstellung des virtuellen Gartens enthält somit intensive, gesättigte Farben, während der schlechteste Zustand an ein verblasstes Foto in Sepia-Tönen erinnert (Abb. 46). Wie sich das Prinzip expressiver Farbigkeit in einer Echtzeit-3D-Szene anwenden lässt, zeigte die Masterarbeit von Peter Huber (Huber, 2012), in der die visuelle Stimmung u.a. über hardwarenahe Filterketten beeinflusst wird (Abb. 47).

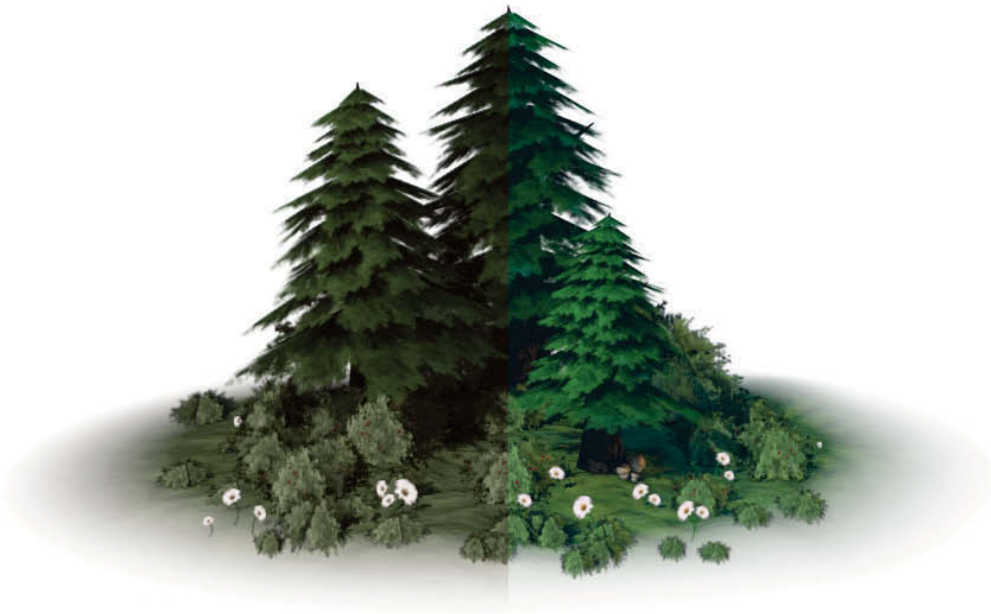


Abb. 46: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Farbigkeit an den Enden des Ausdrucksspektrums.



Abb. 47: Die Spielszene von Huber realisiert visuelle Ausdruckskanäle durch die Steuerung von Shader-Eigenschaften in der Horde-Engine³⁷. Dadurch verändern sich Nachbearbeitungseffekte (Rauschen, Vignette) sowie die Farbe der Objekte selbst und deren Bewegung im Wind. [Huber2012]

³⁷ <http://horde3d.org/>

Dynamisches Beleuchtungsmodell. In der neuen kompakten Anordnung überlagern sich viele gleichfarbige Elemente, wie zum Beispiel grüne Büsche und Bäume. Um die Szene so zu gestalten, dass die Modelle nicht flach, sondern plastisch aussehen und sich Objekte andererseits voneinander abheben, lassen sich Beleuchtungsmodelle einsetzen, wie bereits in Kapitel 4.1.3 angesprochen. Grundsätzlich wird die Szene von einem Drei-Punkt-Lichtmodell ausgeleuchtet (vgl. Abb. 36), um Konturen hervorzuheben und die Objekte plastisch auszuleuchten. Einige ausgewählte Bereiche, die vor allem in der Mitte der Baumkleider liegen, werden zudem durch drei Scheinwerfer akzentuiert (Abb. 48). Zur Unterstützung der dynamischen Dramaturgie verändert sich das Beleuchtungsmodell mit dem Zustand der Szene. Am positiven Ende der Adaptionsskala steht die beschriebene Platzierung, bei der die Akzentlichter von links oben in das Bild fallen, was sich an den natürlichen Sehgewohnheiten orientiert. Um so weiter sich der zu visualisierende Wert an das negative Extrem annähert, um so greller, unbunter und gestreuter erscheinen diese Lichter. Ihre Position verschiebt sich zudem auf beide Seiten der Szene, so dass das Licht von rechts unten strahlt (Abb. 49). Da eine solche Lichtsituation in der Natur sehr selten vorkommt, wirkt sie befremdlicher und weniger harmonisch.

Gewichtung entlang des Wertebereichs. Ein gestalterisches Grundprinzip zum Aufbau von Abwechslung, Spannung und Natürlichkeit ist die Vermeidung von Symmetrie. Dies gilt für virtuelle Charaktere (Thomas, et al., 1981) ebenso wie für die meisten Gestaltungskanäle und Kompositionsprinzipien. Zur Steigerung der Unterhaltsamkeit und als zusätzlicher Anreiz einen besonders guten Punktestand zu erreichen, wurden die Transformationen der einzelnen Komponenten nicht einfach über die gesamte Skala gestreckt, sondern anteilig gewichtet. So erscheinen Beeren überhaupt nur dann, wenn der Anwender mindestens 80% der Maximalpunktzahl erreicht, sich also in den oberen 20% der besten Leistung wiederfindet. Ähnlich verhält es sich mit weiteren Details (Blumen, Pilze), die innerhalb der oberen 30%-40% aktiv sind. Ab 60% Spielerfolg erreicht das Beleuchtungsmodell seine harmonischste Ausrichtung. Lediglich für die Gesamterscheinung grundlegende Elemente, wie die Verformung von Bäumen und Büschen, die Transparenzmodifikation sowie der Farbfilter, erstrecken sich von 0% bis 100%.

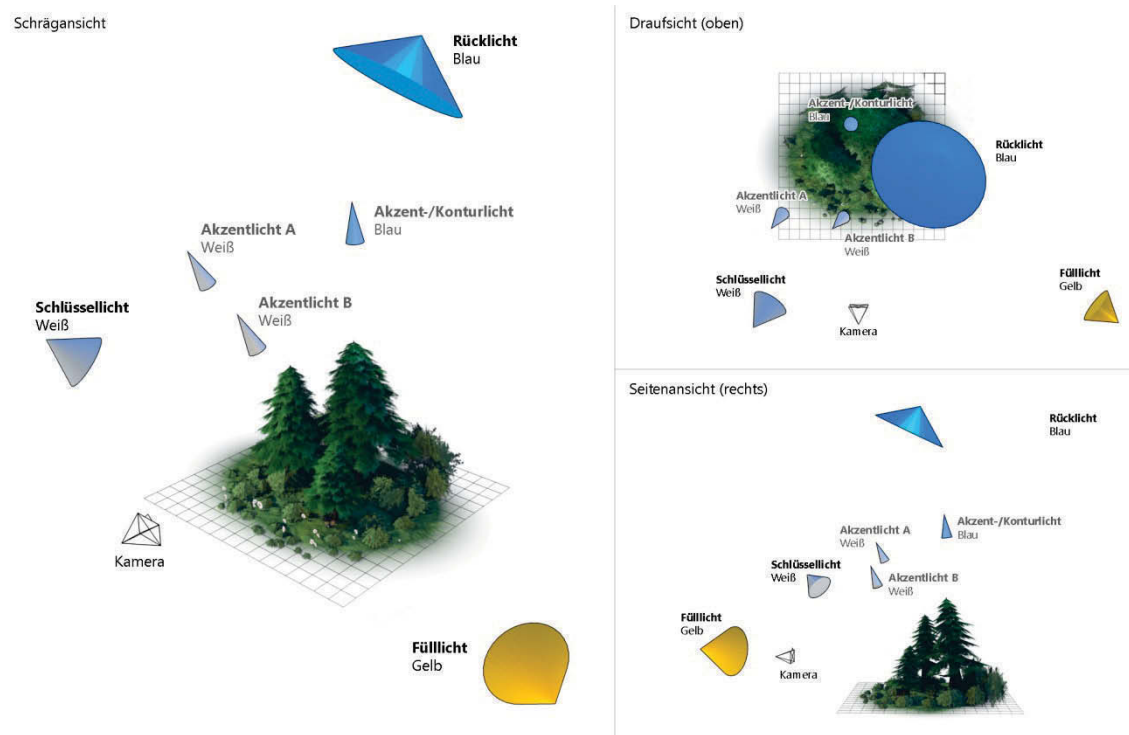


Abb. 48: Beleuchtungsmodell für die vitale Stimmung der Szene, orientiert am Drei-Punkt-Modell.

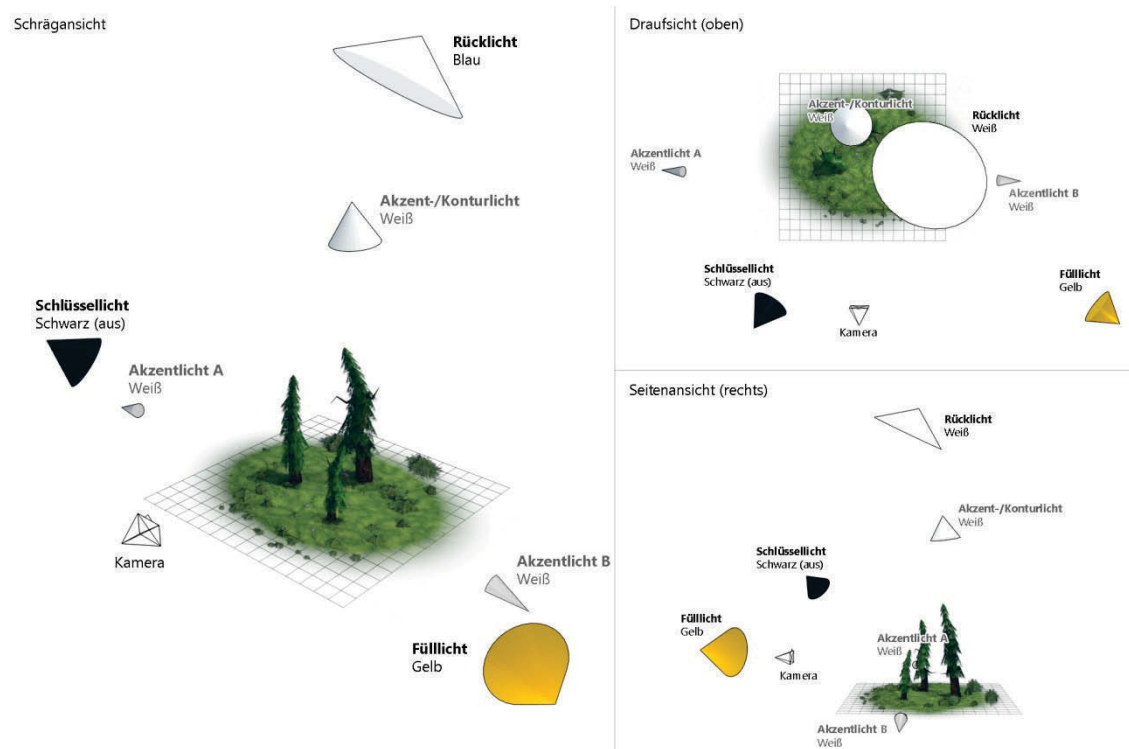


Abb. 49: Verschiebung der Lichter für die kranke Stimmung der Szene. Das Fülllicht wird komplett ausgeblendet, Akzentlichter befinden sich seitlich und beleuchten die Szene von unten. Die Lichtfarben werden bis auf das Fülllicht entsättigt, das zugunsten des Kontrasts unverändert gelb bleibt.

4.4.3 Formulierung von Dramaturgie und Inhalt (Modell)

In einem real produzierten Produkt, z.B. einem interaktiven Drama in Form eines Computerspiels, lägen konkrete Handlungsstränge und Themen vor. Auch inhaltliche Ziele, Motive und Charakterpersönlichkeiten, die von Autoren formuliert werden, haben Einfluss auf die zu einem Zeitpunkt vorherrschende und zu vermittelnde Stimmung, die sich durch Spielerinteraktion und Ereignisse ändern kann. Für die experimentelle Untersuchung der Umsetzbarkeit dynamischer Formensprache wurde, ausgehend vom verfügbaren Wertebereich der *ShapeKeys*, die Repräsentation der inhaltlichen Dramaturgie als einfacher eindimensionaler Wert im Gültigkeitsbereich zwischen 0 und 100 umgesetzt. Ein Wert von 0 wird auf das positivste Ende der Transformationskala abgebildet, während ein Wert von 100 der negativsten Stimmung entspricht, die die dynamische Stimmung im Testszenario annehmen kann. Der Startwert liegt an der neutralen Mittelposition von 50.

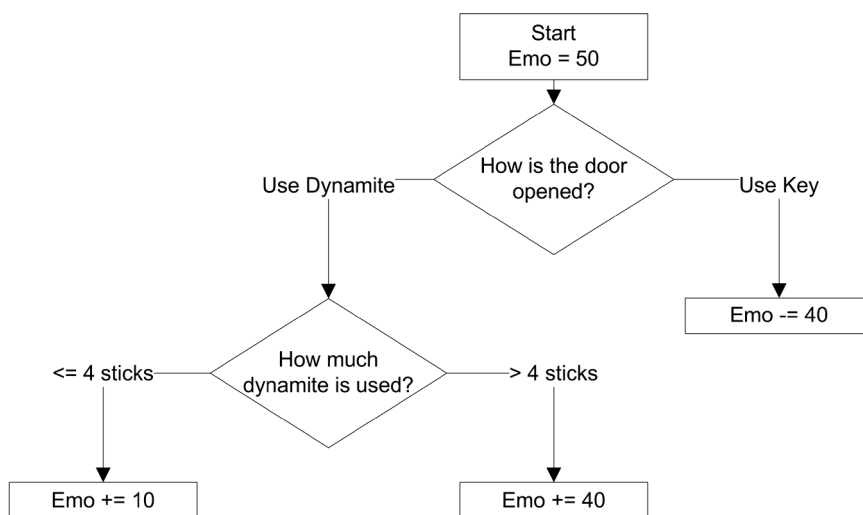


Abb. 50: Beispielablauf für ein rudimentäres moralisches Modell zur Umsetzung dynamischer Formensprache. Der Startwert 50 wird durch Nutzerinteraktion Richtung 100 oder 0 verschoben. [nach Brihi 2011]

Um eine vereinfachte benutzerabhängige Dramaturgie zu implementieren, die dem Prinzip einer interaktiven Geschichte folgt, wurde ein einfacher Erlebnispfad durch die aus den adaptiven Modellen aufgebaute Landschaft realisiert, auf dem der Spieler an verschiedenen Aktionspunkten Entscheidungen treffen muss. Jede Entscheidung kann auf eine moralisch gute oder schlechte Weise getroffen werden, was einen entsprechenden mathematischen Einfluss auf den Stimmungswert hat (Abb. 50). So muss zu Beginn z.B. ein Tor geöffnet werden, das den Pfad versperrt. Dies kann mit dem Suchen eines Schlüssels auf eine gute Weise oder durch das Zerstören des Tors mit Dynamit auf eine schlechte Weise getan werden. Das Beschaffen des Schlüssels, der in

einem Brunnen liegt, kann wiederum so erfolgen, dass nur so viel Wasser aus dem Brunnen abgelassen wird, bis der Schlüssel erreichbar wird (gut) oder so, dass überhaupt kein Wasser mehr vorhanden ist, wodurch die Fische im Brunnen sterben (schlecht). Zwar hat der Spieler explizite Kenntnis darüber, dass jede Entscheidung mit einer Wertigkeit einhergeht, er erhält aber während des Spiels keine direkten Informationen über den momentanen emotionalen Punktestand. Statt dessen adaptieren die stimmungssensitiven Objekte diesen Wert und beeinflussen so die Wirkung der gesamten Szene (Abb. 51).



Abb. 51: Mit stimmungssensitiven Modellen realisiertes Spielszenario. Links: Aussehen der Szene nach moralisch positiv bewerteten Nutzerentscheidungen. Rechts: Identische Szene, jedoch nach negativ bewerteter Interaktion. [Szenen aus dem Prototyp von Brihi 2011]

Während sich das in diesem Testszenario verwendete Datenmodell auf eine einfache Skala beschränkt, kann dieses für ein weiterentwickeltes Spielszenario auf mehrere Dimensionen erweitert werden. Alonso et al. stellen in ihrer Arbeit zu dynamischer Dramaturgie beispielsweise eine „narrative engine“ und insbesondere einen „drama manager“ vor, die die Erzählabsichten („authorial intend“) an eine Visualisierungskomponente („presentation engine“) übermitteln. Dies bewerkstelligen sie durch den Einsatz von Schnittstellen zwischen Dramaturgie und Grafik, die sie „dramaturgical handles“ nennen.

Beispiele für „dramaturgical handles“ (Alonso, et al., 2011):

- Importance (of a character, thing, activity, or scene)
- Mood (of a scene)
- Mood (of a character)
- Relationship (between a character and another character or thing)
- Perspective (of a scene)

Für die Repräsentation von Stimmungen („mood“) kommt das von Ortony, Clore, & Collins (Ortony, et al., 1988) entwickelte OCC-Emotionsmodell zum Einsatz (Bartneck, 2002). Zwar verschmelzen in Alonsos Ansatz Steuerungsteil und Modell stellenweise, doch bleibt der Grundgedanke gleich, dass die Form des Erzählens von der Geschichte selbst getrennt werden kann. (Alonso, et al., 2011)

4.4.4 Dynamik und Interaktion (Steuerung)

Für die Implementierung der Zusammenhänge von Ursachen und Wirkungen kann theoretisch zunächst jeder Parameter eingesetzt werden. Seitens des Inhaltsmodells kommt aus technischer Sicht jeder Wertausdruck als Datenquelle in Frage, seien es zwischengespeicherte Variablen, Formelergebnisse oder Sensordaten. Diese lassen sich andererseits an jede grafische Eigenschaft binden, die sich wiederum als Parameter ansteuern lässt, wie z.B. die bereits angesprochenen Lichtquellenattribute Helligkeit, Farbe, Einfallswinkel, und so weiter. Die Ausgangswerte eines Modells bilden also die Eingangswerte einer Grafikkomponente. In der Praxis lassen sich solche Beziehungen jedoch nicht ganz so einfach aufbauen: Da sich Zweck und Motivation der Quell- und Zieleigenschaften üblicherweise stark unterscheiden, können Werte nicht eins zu eins abgebildet werden. Es sind Regelwerke nötig, die die Beziehung zwischen Aus- und Eingaben definieren, Wertebereiche ineinander abbilden und Beschränkungen relevanter Domänen³⁸ berücksichtigen. Wollte man beispielsweise Messdaten eines Außenthermometers auf den Einfallswinkel einer virtuellen Lichtquelle abbilden, so könnte man die Sensorwerte zwar direkt auf die Winkleigenschaft übertragen. Dabei stimmen aber weder die Wertebereiche, noch die Ergebnisse überein. Während das Thermometer z.B. Werte zwischen -50 und 150 (°C, Temperatur) liefert, bewegen sich Winkelwerte im einfachsten Fall zwischen 0 und 360 (°, Winkelgröße), weshalb eine Skala auf die andere abgebildet werden müsste. Außerdem ist zu überprüfen, ob die Winkel der Lichtquelle die gewünschte Wirkung im Ergebnis zeigen. Sollen z.B. bestimmte bildgestalterische Wirkungen erzielt werden, könnten zusätzliche Regeln und Beschränkungen erforderlich sein, um die Wirksamkeit des Effekts zu erhöhen. Auch Kombinationen mit weiteren Parametern, z.B. der Lichtfarbe wären denkbar, so dass ein Quellsignal mehrere Ausgabeparameter beeinflusst.

³⁸ Im vorliegenden Fall könnte eine Domäne z.B. die Cinematographie sein, d.h. filmtechnische Gestaltungsmittel seien (aufgrund der Szenariodefinition) anzuwenden und daher als Beschränkung zu berücksichtigen.

4.4.5 Das 3-Rollen-Modell als Analogie eines Filmteams

Ähnlich der Situation an einem realen Drehort wurden die Bestandteile dieser Architektur in der prototypischen Umsetzung mit den drei Rollen Autor, Regisseur und Darsteller gedanklich gleichgesetzt (Abb. 52). Dabei übernimmt die einzeln auftretende Rolle des Regisseurs in seiner steuernden Funktion die Koordination der anderen Parteien und entscheidet über die momentane Stimmung der Szene. Drehbuchautoren definieren die Rahmenhandlung sowie das grundsätzliche Szenario. Sie unterliegen keiner festen technischen Definition, so dass es sich bei dieser Rolle sowohl um menschliche Autoren aber auch technische Komponenten handeln kann. Es ist denkbar, dass diese Rolle sogar von einer vollkommen künstlichen Recheneinheit übernommen wird, die generische Inhalte erzeugt. Auf der anderen Seite lassen sich in diesem Rollenmodell auch interaktive Elemente wie z.B. Schaltflächen als Autor auffassen, da über sie Einfluss auf den Inhalt genommen wird. Der Zuschauer bzw. Anwender übernimmt in diesem Moment durch sein Handeln zumindest teilweise die Rolle des Autors, was eine Besonderheit der interaktiven Medien gegenüber statischen linearen Medien darstellt.

Wenn die Autoren Inhalte definieren und der Regisseur diese zusammenführt, treten alle Elemente, die die von der Regie festgelegte Stimmung visualisieren können, als Darsteller auf. Nahezu beliebige Elemente lassen sich als Darsteller einsetzen, so dass Lichtquellen ebenso wie die verformbaren adaptiven Objekte diese Rolle einnehmen können.

Autonomisieren von Darstellern

Im realen Vorbild berücksichtigen Schauspieler zwar die Anweisungen des Regisseurs, der den Überblick über die Koordination aller Parteien hat, doch agieren sie nicht als willenlose Zombies. Vielmehr liegt eine der zentralen Aufgaben des Schauspielers darin, die inhaltliche Vorgabe durch eine individuelle Interpretation zu beleben. Abgesehen von darstellerübergreifenden Synchronisationsvorgängen, die z.B. ein einheitliches Gesamtbild sicherstellen, verhalten sich die Darsteller hier also prinzipiell autonom. Der Akteur weiß lediglich, wie er die von der Regie angegebene Stimmung für sich visualisieren kann, zunächst unabhängig von weiteren Elementen der Szene. Diese Interpretation beschreibt keinen monolithischen Ansatz bei dem eine zentrale Steuereinheit mehr oder weniger fest definierte Elemente manipuliert, sondern ein Baukastensystem, bei dem die einzelnen Darsteller flexibel einsetzbar und problemlos austauschbar werden.

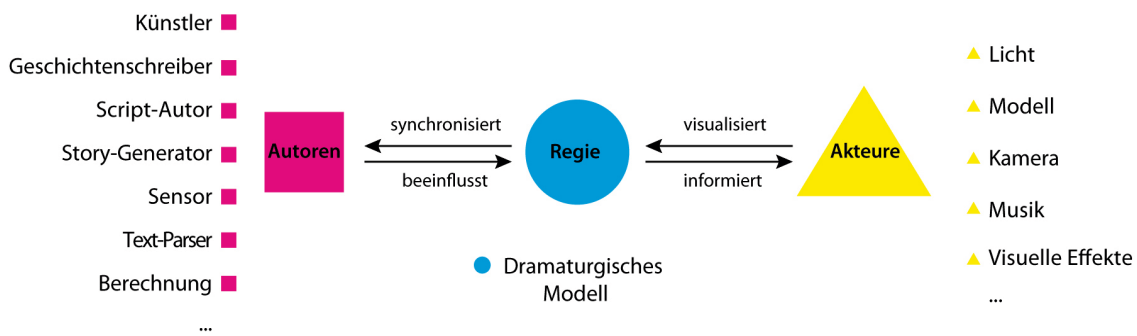


Abb. 52: Rollenmodell für dramaturgische Visualisierung. Autoren sind letztlich Einflussflussgrößen, die Inhalte initial definieren oder auch zur Laufzeit verändern. Der Regisseur verwaltet ein dramaturgisches Modell, das von beliebigen Darstellern umgesetzt wird. Darsteller visualisieren auf konzeptioneller Ebene zwar die Dramaturgie, doch haben sie keine Kenntnis von den sich abspielenden Inhalten. Ebenso sprechen Autoren keine Akteure an - sofern dies nicht unmittelbar handlungsrelevant ist.

Im Konzept autonomer Darsteller steht nicht der Vorgang, sondern das Erreichen eines Ziels im Mittelpunkt. Anstatt jede einzelne Komponente explizit anzusprechen und ihre Parameterwerte zu ändern, wird ausgedrückt, welche Wirkung auf den Rezipienten erreicht werden soll. Wie dieses Ziel konkret erreicht wird, ist Teil der Umsetzungsdetails eines jeden Darstellers und auf übergeordneter Ebene weder ersichtlich noch relevant. Einen ähnlichen, auf die Visualisierung übertragbaren Ansatz verfolgen Meier und Gilbert (Meier, et al., 2011) für die interaktive Generierung und Modifikation von Musik. Der Einsatz von Präferenzen („Preferences“) ermöglicht es, die akustischen Ausgaben ihrer Software zu modifizieren, in dem angegeben wird, wie die Musik klingen soll. Diese *Vorlieben* geben keine strikten Einschränkungen vor, sondern sollen als Wunsch verstanden werden, der so gut wie möglich zu erfüllen sei, was sich auch im Begriff der „Soft Constraints“, also „sanfter Beschränkungen“ widerspiegelt. Diese geben nach Meier an, wie gut eine Wertzuweisung das gewünschte Ziel trifft, wodurch sich Spielräume definieren lassen. Diese spielen wiederum eine Rolle, wenn mehrere gleichwertige Konditionen parallel erfüllt werden sollen. Es kommt dabei zu konkurrierenden Wünschen („Concurrent Preferences“), deren Lösung zum Beispiel Kompromissstrategien auf Basis von Prioritäten („Weights“) und Bewegungsfreiheiten („Soft Constraints“) erfordert. Die Anwenderinteraktion wird in dieser Architektur als sich verändernde Präferenz eingebunden.

Das 3-Rollen-Modell beschreibt einen grundsätzlichen Aufbau und wurde in einer einfachen Form für die Machbarkeitsstudie der adaptiven Formsprache umgesetzt. Zur Realisierung anspruchsvoller Projekte können die einzelnen Bestandteile weiter entwickelt und auf komplexere Logik aufgebaut werden. Die Masterarbeit von Simon Flutura beschäftigt sich z.B. mit der Vertiefung des Autonomieaspekts, in dem Konzepte zur Selbstorganisation aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz betrachtet wurden. Die dramaturgische Inszenierung geht dabei von Individuen aus, die unabhängig voneinander agieren. Jede Requisite verwaltet dabei autonom ihre Darstellungsvarianten und gleicht sie mit umgebenen Elementen des „Schwarms“ von Szenenobjekten unter Berücksichtigung dramaturgischer Richtlinien ab (Flutura, 2014).

4.5 Herausforderungen und Risiken adaptiver Formgebung

Die Implementierung von rollenbasierten autonomen Darstellern verbessert im vorgestellten Szenario die Lebendigkeit und Immersion der Erzählung durch die visuelle Adaption von inhaltlicher Dramaturgie. Prototypisch wurde hierfür eine virtuelle Landschaft mittels der Blender-GameEngine realisiert und das Rollenmodell in Python-Klassen implementiert. Adaptive Szenenobjekte wie Bäume, Büsche und Berge transportieren die inhaltliche Dramaturgie visuell, in dem sie sich über einen zeitlichen Verlauf hinweg in ihrer Form an eine moralische Bewertung der vergangenen Anwenderinteraktion in Echtzeit anpassen. Der Umgang mit adaptivem Bildmaterial erfordert allerdings eine bewusste Auseinandersetzung mit den implementierten grafischen Veränderungen und der symbolischen Abbildung auf Handlungselemente und Inhalte.

Inhaltlich-dramaturgische Ambiguität. Ein Risiko des Ansatzes liegt in der Gefahr der Vermischung von *expliziter* und *impliziter* Gestalt. Wenn sich ein Objekt visuell verformt, ändert sich zwangsläufig auch ein Teil seiner erzählerischen Bedeutung und nonverbalen Aussage. Bei starken Änderungen kann die erzählerische Bedeutung jedoch so sehr variieren, dass sich möglicherweise ungewollte Überschneidungen mit der inhaltlichen Erzählung ergeben. Verändert sich der in Abb. 41 gezeigte Berg noch extremer, etwa zu einem feuerspuckenden Vulkan, so kann dies beim Spieler beispielsweise die Erwartung wecken, dass die von diesem Vulkan ausgehende Bedrohung Einfluss auf die Handlung hat. Dies *kann* gewünscht sein, was eine Weiterentwicklung der subtilen Formsprache hin zu expliziten dynamischen Inhalte bedeuten würde.

Ähnliches gilt für die Wahrnehmbarkeit der Transformationen. Die *ShapeKey*-basierte Verformung von Objekten führt zu grafischen Veränderungen, die vor allem dann deutlich wahrnehmbar sind, wenn die Änderung innerhalb eines kurzen Zeitraums erfolgt. Dauert der Formwechsel zu lange, lassen sich andererseits inhaltliche Änderungen möglicherweise nicht schnell genug widerspiegeln. Nimmt der Spieler diesen Mechanismus deutlich wahr, so entsteht auch hinsichtlich der zeitlichen Dimension die Gefahr, dass nicht mehr klar zu unterscheiden ist, ob eine Veränderung aktiver Teil der Erzählung oder der stimmungssensitiven Requisite ist.

Akzeptanz und Erwartung. Die Akzeptanz von adaptiver Formensprache hängt auch von der Erwartungshaltung des Anwenders ab. In einer fotorealistischen virtuellen Umgebung würden wahrnehmbare Transformationen möglicherweise irritieren, da sie in der realen Welt nicht vorkommen und somit einen Bruch in der Realitätssimulation darstellen. Versteht der Anwender das Konzept einer sich verändernden Welt als Teil der Spielmechanik, so kann die These aufgestellt werden, dass die visuelle Adaption nach dem Prinzip der *Willentlichen Aussetzung der Ungläubigkeit*³⁹ zugunsten der Unterhaltung akzeptiert wird.

Subjektivität und Bedeutungstiefe. Schließlich stellt sich die Frage, wie die verschiedenen Extreme des Verformungsspektrums überhaupt definiert werden können. Insbesondere bei Dramaturgien, deren Komplexität über das binäre gut und schlecht hinaus gehen, ist es schwierig die Abbildung von Aussage und deren Visualisierung zu definieren. Hier spielen einerseits subjektive Faktoren eine Rolle, etwa wie die Wahrnehmung der Anwender durch persönlicher Präferenzen oder Lebenserfahrungen geprägt ist. Andererseits spielen auch gesellschaftliche Vereinbarungen und Sehgewohnheiten eine Rolle. Daher ist es denkbar, dass eine gegenseitige Abbildung von Form und Bedeutung nur für bestimmte Kulturkreise funktioniert und die Formensprache anhand der Zielgruppe auszurichten ist.

³⁹ „Willing suspension of disbelief“ beschreibt die Bereitschaft Fiktion vorübergehend als Realität zu akzeptieren, wodurch z.B. Fantasiewelten als glaubhaft angesehen werden. (Rollings, et al., 2003 S. 58)

4.6 Bedeutung für die Persuasion

Im gezeigten Beispiel wurde die sich anpassende Gestaltung für visuelle Rückmeldung an einen Endbenutzer eingesetzt, d.h. als unmittelbare Methode der virtuellen Weltgestaltung. Die inhaltliche Dramaturgie wird dem Spieler dabei unterschwellig vermittelt, wobei die dynamische Anpassung in Echtzeit konkret auf das interaktive Medium zugeschnitten ist. Sie stellt damit eine Verbesserung gegenüber bisherigen statischen Gestaltungsansätzen dar.

Neben der subtilen Unterstützung der zu vermittelnden Atmosphäre lassen sich adaptive Grafiken auch einsetzen, um Anwender gezielt zu beeinflussen. Halper hat in seiner Arbeit zur visuellen Unterstützung von Computerspielen (Halper, 2003) gezeigt, wie verschiedene Render-Stile eingesetzt werden können, um Informationen zu transportieren. Er stellt dazu etwa glatte Linien zackigen Konturen gegenüber und stellt dabei fest, dass 67% der Probanden die Tür, die mit gezackten Linien gezeichnet wurde, mit Gefahr assoziieren. Vor diesem Hintergrund lassen sich dynamische Visualisierungen dazu einsetzen, um nonverbale Handlungsaufforderungen zu generieren oder dem Spieler subtile Hinweise zu geben, die ihm die Interaktion erleichtern.

Andere Einsatzgebiete für Methoden der interaktiven Cinematographie können etwa Prototypisierung oder Visualisierungshilfen für Geschichtenschreiber sein. Selbst wenn der grafische Inhalt vom Autor explizit definiert wird, erleichtern dynamische Requisiten die grafische Unterstreichung der Erzählung einer Szene zu verschiedenen Zeitpunkten, Kontexten oder Stimmungen einer komplexen Handlung. Das System wird in diesem Fall in erster Linie zu einem Autorenwerkzeug, statt einem Endanwendersystem, wobei sich eine Kombination beider Anwendungsfälle natürlich nicht ausschließt.

Im nächsten Kapitel wird die adaptive Visualisierung in einen Anwendungskontext überführt, der nicht mehr nur reine Unterhaltungszwecke verfolgt, wie dies im Computerspielszenario der Fall war. Bindet man konkrete Datenquellen wie etwa Messwerte von Energiesensoren an die Grafikparameter an, so lässt sich die adaptive Grafik als unkonventionelle Datenvisualisierungstechnik und persuasives Werkzeug einsetzen.

4.7 Kapitelzusammenfassung

Dieses Kapitel diskutiert ästhetisch motivierte Gestaltungsansätze, ihren Einsatz in interaktiver Cinematography, sowie die innovative Erweiterung um den Einsatz von expressiver Formgebung. Ästhetisch motivierte Gestaltung wird hier als Kombination von Datenvisualisierung mit Mitteln der „Gestaltungsphilosophie“ betrachtet. Der Begriff „Cinematography“ hat als Sammlung aus dem Filmwesen kommender visueller Erzähltechniken bereits Einzug in die Bildgestaltung von interaktiven Medien erhalten. Ein Ziel der damit realisierbaren inhaltlich-grafischen Synchronisierung ist das Erhöhen der Lebendigkeit interaktiver Dramen. Abstrahierte Inhalte liegen heute etwa in Form von Emotionsmodellen sogar schon vor, so dass cinematographische Visualisierungskomponenten zur Vervollständigung von virtuellen Inszenierungen beitragen.

Während Kamerainszenierung und Lichtsetzung bereits umfangreich behandelt wurden, geht diese Arbeit auf die grafische Form als solche ein, wodurch ein bisher fehlender Baustein auf dem Weg zu einem Werkzeugsatz für visuelle Expressivität geliefert wird. Das Novum im vorgestellten Ansatz findet sich in der Berücksichtigung von Interaktion und Echtzeitdynamik für die Formgestaltung. Die non-verbale Aussage, die über die äußere Form und Kontur eines Objekts vermittelt wird, kann sich in der diskutierten Lösung auf Basis von ShapeKeys jederzeit nahtlos ändern. Ergänzend zur Form wurden die Gestaltungskanäle Farbe, Detailgrad, Komposition, Beleuchtung und Nachbearbeitungsfilter als Expressivitätswerkzeuge eingesetzt, um durch unterschiedliche Gewichtungen zusätzliche Anreize schaffen zu können. Technisch kommt als allgemeingültige Abbildungsfunktion eine Prozentskala zum Einsatz, die bewirkt, dass sich verschiedene Abstufungen und Übergänge zwischen den darstellbaren Aussagen jederzeit ansteuern lassen. Für komplexere Szenarien kann der technische Aufbau adaptiver Grafik mit Rollen realisiert werden, die denen der Mitarbeiter einer Filmproduktion ähneln, wobei es sich anbietet, Darsteller autonom zu konstruieren, so dass einzelne Instanzen entscheiden, wie sie eine vorherrschende Stimmung visualisieren.

Neben der eigentlichen dynamischen Inszenierung im Endprodukt lässt sich der Formenspracheansatz auch als Entwurfswerkzeug für die Planung und Prototypisierung nutzen. Dabei müssen gestalterische Entscheidungen dem Autor nicht zwangsläufig vollständig abgenommen werden. Vielmehr kann das dynamische Grafikmodul Unterstützung im Entwicklungsprozess bieten.

5. Transfer des Formsprache-Ansatzes

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit Frage, wieweit sich der zuvor für virtuelle Dramen konzipierte Prinzip adaptiver Formsprache auch außerhalb des spielerischen Kontextes einsetzen lässt. Am Anwendungsfall des Energiesparens wird untersucht, wieweit sich adaptive Formsprache als ästhetische Visualisierung in einem persuasiven Alltagsszenario einsetzen lässt. Hierfür liefern Sensoren Messdaten aus denen die visuelle Dramaturgie errechnet wird. In einer Gegenüberstellung mit sachlich motivierter Gestaltung werden Möglichkeiten und Grenzen beider Ansätze aufgezeigt.

5.1 Theoretischer Hintergrund

In den letzten Jahrzehnten hat sich der weltweite Energieverbrauch durch den rasanten Einzug elektronischer Gebrauchsgegenständen in den weltweiten Alltag drastisch erhöht. Öffentliche Debatten und politische Entwicklungen, wie etwa das Erneuerbare-Energien-Gesetz, zeugen nicht nur in Deutschland davon (Knebel, 2014), dass ein gesellschaftliches Umdenken und praktische Verfahrensänderungen dringend erforderlich sind. Die Endlichkeit bisheriger Energiequellen, wie zum Beispiel fossiler Brennstoffe, tritt immer stärker in Erscheinung und erfordert, dass heute eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema „Alternative Energiegewinnung“ stattfindet. Nur so lässt sich wirtschaftlichen und in Folge auch politischen und gesellschaftlichen Krisen, die eine Energieknappheit in naher Zukunft mit sich brächte, vorbeugen.

In der bewussten Auseinandersetzung auf diesem Gebiet spielt aber natürlich nicht nur die quantitative Verfügbarkeit eine Rolle. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund des in den letzten Jahrzehnten gesellschaftlich aufgekeimten Verantwortungsbewusstseins gegenüber der nachhaltigen Bewirtschaftung von Natur und Umwelt, spielen auch Fragen der ethischen Qualität eine zentrale Rolle in der Energiediskussion. Es geht nicht mehr nur darum, von wo noch mehr Energie herkommen kann, sondern auch, unter welchen langfristigen Umweltbelastungen erzeugt wird, inwieweit erneuerbare Quellen einsetzbar sind und wie sich der Energiebedarf überhaupt reduzieren lässt.

Während sich die grundsätzliche Beschaffungsfrage in erster Linie im Wirkungskreis der Stromanbieter abspielt, betrifft die Reduzierung des Stromverbrauchs jeden einzelnen Verbraucher. Diese müssen sowohl über die allgemeinen Hintergründe, als auch ihre eigene Energiebilanz aufgeklärt werden, um den Grundstein für zukünftige Ver-

haltensänderungen zu legen. Zunächst besteht eine essentielle Aufgabe dabei darin, zu bewirken, dass das Einsparen von Strom ein persönlicher Vorsatz des Anwenders wird. Persuasive Konzepte können ihn dann beim Erreichen dieses Ziels unterstützen. Die Frage, wie Endverbraucher aufgeklärt und überzeugt werden können, bildet die Grundlage für eine Vielzahl von Forschungsfragen und -projekten.

Zahlreiche Studien zeigen, dass sich sowohl das Problembewusstsein steigern, als auch eine erhöhte Sparsamkeit bewirken lässt, wenn Menschen Rückmeldungen über und Einblick in ihre tatsächliche Energiebilanz erhalten. Erste Arbeiten in diesem Bereich wurden bereits in den 70er-Jahren veröffentlicht, wo sich Einsparungseffekte dokumentieren ließen, die sowohl infolge von monetären Anreizen als auch durch die Aufklärung über den eigenen Verbrauch entstehen (Hayes, et al., 1977). In einer Studie in 100 kanadischen Haushalten konnte 1992 durch Meldung der Verbrauchsdaten an die Teilnehmer eine Energieeinsparung von 12.9% zum Vorjahr erreicht werden (Dobson, et al., 1992). Experimente, die Energiespareffekte nachweisen sollen, werden oft in *Gruppen* von Probanden durchgeführt, in denen sich gesellschaftliche Wirkungen repräsentativ beobachten lassen, wie es beispielsweise bei einzelnen Straßenzügen oder Wohnheimen der Fall ist. In einem Studentenwohnheim gelang es 2007 sogar, eine Reduzierung des Stromverbrauchs von 32% durch Offenlegung der Verbrauchsdaten und Schaffen einer Wettbewerbssituation zu erreichen (Petersen, et al., 2007).

Dass Gruppeneffekte eine wesentliche Rolle bei der effektiven Vermittlung von Energiedaten spielen, stellen Grevet et al in ihrem Papier zur nachhaltigen Verhaltensbeeinflussung durch „Social Visualization“ dar (Grevet, et al., 2010). Sie gehen darin auf mehrere Aspekte der Aufbereitung von Daten mit gesellschaftlichen Bezügen ein: aus Sicht des Individuums hilft eine Gegenüberstellung der eigenen Verbrauchsdaten mit denen einer Gruppe, um die eigene Leistung vergleichen und einordnen zu können. Visualisierungen zeigen einem Individuum dabei, wie es im Verhältnis zu einer Gruppe abschneidet. Erweitert man die einzelne Partei aber um weitere Mitglieder, so entstehen konkurrierende Gruppen. Nach Grevet fördert dies die Zusammenarbeit innerhalb der Gruppe, da nicht mehr nur die Ziele eines Einzelnen, sondern die einer im Wettbewerb stehenden Gemeinschaft verfolgt werden, was sowohl kooperatives als auch kompetitives Denken erfordert. Das Individuum identifiziert sich dabei mit den Gruppeneigenschaften, etwa deren Abschneiden im Vergleich zu anderen Gruppen. Beim Vergleich der Energiesparbilanzen von konkurrierenden Testgruppen zeigten auch Siero et al., dass diejenigen, die Einblick in das Verhalten der anderen Gruppen hatten, besser abschnitten als diejenigen, die nur Informationen über die Verbrauchs-

daten der eigenen Gruppe bekamen. Die Autoren vermuten die Entwicklung von gruppendynamischen Prozessen als Grund für die höhere Motivation und somit besseren Ergebnisse, d.h. Energieeinsparungen, die auch noch sechs Monate nach dem eigentlichen Experiment messbar waren (Siero, et al., 1996).

Die Staffelung in kollaborierende oder konkurrierende Individuen und Gruppen führt zur Frage nach der Vergleichskomplexität. Zwei grundlegende Möglichkeiten werden von Grevet et al. unterschieden. *Unidimensionale* Vergleiche beinhalten den expliziten Vergleich eines Individuums mit anderen, entlang einer einfachen Dimension, was im Individuum den Wunsch wecken kann, so zu sein wie die Gruppe. *Multidimensionale* Vergleiche seien durch den Einsatz mehrerer Dimensionen dagegen schwieriger, zumal Teilnehmer in manchen Bereichen besser, in anderen schlechter abschneiden könnten. Insgesamt gehe es aber darum, Unterschiede zu vermitteln. (Grevet, et al., 2010)

Grevet et al stellen einige Vorschläge für den Entwurf von vergleichenden Visualisierungen auf, wie nachfolgend zusammengefasst⁴⁰:

- **Gruppierungen:** Zeigt man einem Individuum nicht nur die Daten der eigenen Gruppe, sondern auch die von konkurrierenden Gruppen, so kann dies die Zusammengehörigkeit innerhalb der eigenen Gruppe stärken. Der Vergleich von individuellen Daten unterstützt hingegen die Einschätzung der eigenen Leistung.
- **Dimensionalität:** Durch die Informationsarmut unidimensionaler Vergleiche schneiden Teilnehmer eventuell schlechter ab, wenn sie zum Beispiel der Beste in der eigenen Gruppe sind, zumal keine höhere Herausforderung sichtbar ist. Multidimensionale Vergleiche enthalten mehr Informationen und Vergleichsmöglichkeiten. Aussagen sind dabei aber immer relativ und lassen sich kaum auf eine einzige absolute Bewertung reduzieren.
- **Anonymität:** Grundsätzlich ließ sich feststellen, dass anonymisierte Vergleiche motivierend wirken. Inwieweit Identitäten offengelegt werden können, um zum Beispiel den Wettbewerbscharakter zu steigern, soll von der jeweiligen Situation und den Beziehungen zwischen den Teilnehmern abhängig gemacht werden.

⁴⁰ Deutsche Zusammenfassung der „Design Implications“ im Zusammenhang von Grafiken, die soziale Daten visualisieren, um nachhaltiges Verhalten zu fördern („Social Visualization aimed at Encouraging Sustainable Behavior“)(Grevet, et al., 2010).

- **Wettbewerb und Zusammenarbeit:** Die Eignung dieser beiden gegensätzlichen Konzepte hängt stark von deren Bedeutung im jeweiligen Kulturkreis der Zielgruppe ab. Entsprechend können gruppeninterne oder auch gruppenübergreifende Vergleiche geeignet sein, wobei das Aufzeigen der Rolle einzelner wiederum das Zusammengehörigkeitsgefühl unterstreichen kann.

Nicht immer ist das bloße Anbieten von Verbrauchsinformationen ausreichend. Gelegentlich sind explizite Hilfestellungen und Erklärungen nötig, die dem Anwender bei Interpretation und Ableitung von Konsequenz und Handlungsaufforderungen helfen (Darby, 2006).

Der auf dem Gebiet persuasiver Technologien renommierte Computerwissenschaftler B.J. Fogg stellt in seinem „Behaviour Model“ drei Elemente vor, die nötig sind, um eine Person dazu zu leiten, ein gewünschtes Zielverhalten einzunehmen. Er schreibt: „[...] he or she must (1) be sufficiently motivated, (2) have the ability to perform the behavior, and (3) be triggered to perform the behavior“ (Fogg, 2009). Übertragen auf den Kontext persuasiver Energievisualisierungen kann das bedeuten:

- **Motivation:** Den Teilnehmern muss zunächst der Hintergrund und Nutzen des Energiesparens klargemacht werden, so dass der Wunsch entsteht, selbst aktiv mitzuwirken.
- **Fähigkeit („Ability“):** Es muss ein tatsächliches Energiesparpotential gegeben, sowie eine potentielle Einflussnahme überhaupt möglich sein. In einem Bürokomplex, dessen Geräte von einem bereits hochoptimierten System gesteuert werden, kann ein einzelner Mitarbeiter beispielsweise weniger ausrichten als in seinem Eigenheim.
- **Auslöser („Trigger“):** Vor allem bei der Integration in Alltagsabläufe ist es immer wieder erforderlich Impulse zu geben, die auf das Thema, die aktuelle Situation und die Aktionsmöglichkeiten aufmerksam machen.

5.1.1 Zielgruppen

Für die Auswahl potentieller Einsatzgebiete und Zielgruppen spielen die zu erreichenden Ziele eine große Rolle. Soll beispielsweise eine zukunftsweisende Nachhaltigkeit erreicht werden, könnten sich Investitionen in die zukünftigen Generationen, d.h. die heutigen Kinder, lohnen. Ist das Ziel jedoch kurzfristig Effekte zu erzielen, könnte es sinnvoller sein, Erwachsene zu adressieren und deren Alltagsgewohnheiten, Interessen und Wohnsituationen bei der Systemkonzeption zu berücksichtigen.

Kinder und Jugendliche

Sehr jungen Menschen können die Konzepte des Energieverbrauchs auf spielerische, nicht-technische Art und Weise vorgestellt werden. Das große Potential liegt dabei darin, Kinder für die gesamte Zukunft vorzubereiten und zu erziehen, woraus sich langfristig eine umweltfreundliche Haltung auf globaler Ebene vorbereiten lässt. Dafür müsste aber sichergestellt sein, dass sich die heutigen Kinder später an das Umweltthema erinnern bzw. in ihrem Weltbild verinnerlicht haben. Eine weitere Schwierigkeit begründet sich darin, dass Kinder selbst kaum Einfluss auf den realen Verbrauch haben, was bedeutet, dass die meisten spielerischen Anwendungen zunächst rein fiktiver Natur sind. Es gilt auch hier, einen wirksamen Bezug zur realen Welt und überhaupt mess- und auswertbare Aktivitäten zu finden. Möglicherweise ist auch ein Einbeziehen der Eltern eine Option, um den spielerischen Anreiz zu erhöhen und gleichzeitig mehrere Personen einzubinden.

Büroangestellte

Beobachtungen legen den Schluss nahe, dass Büroangestellte dazu neigen, unachtsam mit Energieverbrauchern umzugehen und beispielsweise das Licht brennen lassen, wenn sie den Raum verlassen. Ein Grund dafür könnte sein, dass es sich nicht um persönliche, sondern fremde Ressourcen handelt, mit denen keine Identifikation stattfindet, was zu einem niedrigeren Verantwortungsbewusstsein führt. Auf der anderen Seite handelt es sich hier um eine schwierige Zielgruppe, da der Einzelne insgesamt wenig Einfluss auf den Gesamtstromverbrauch hat, Geräte wie Computer die meiste Zeit tatsächlich zur Arbeit benötigt werden und die eingesetzten Geräte teils schon energieeffizient sind. So kann bei bestimmten Energiesparlampen häufiges Ein- und Ausschalten sogar zu einem höheren Stromverbrauch führen, als dies bei Dauerbetrieb der Fall wäre. Erste Test-Erfassungen in den Büros des Lehrstuhls führen zu der Vermutung, dass die erreichbaren Einsparungswirkungen in einem solchen Szenario daher nur minimal wären. Ein potentiell ergiebigeres Anwendungsfeld könnte daher in

der Auswertung des Arbeitswegs zu finden sein. Jeder Arbeitnehmer kann beispielsweise selbst entscheiden, mit welchem Verkehrsmittel er anreist und hat so unmittelbaren Einfluss.

Weitere Gruppen

Andere Zielgruppen lassen sich aus Attributen wie Geschlecht, Alter oder Interessengebieten ableiten. So wäre denkbar, ein in den Alltag integriertes Energiesparsystem als einen neuartigen Luxusartikels zu konzipieren. Zunächst mag es paradox erscheinen, Einsparungen für besonders vermögende Menschen umzusetzen, die häufig den Ruf eines verschwenderischen Lebensstils haben. Jedoch ist genau hier ein großes Einsparpotenzial zu vermuten. Zudem ist vorstellbar, dass für diese Zielgruppe auch das schlichte Sparen von Geld wie auch das Erfüllen eines modernen Trends⁴¹ attraktiv ist. Energiesparen könnte dabei zu einer Art Lifestyle-Produkt werden.

5.1.2 Kontexte, Aktivitäten und Gebrauchsgegenstände

Ist eine Zielgruppe gefunden, stellt sich die Frage, wie und wo sich eine Anwendung platzieren lässt, die Rückmeldungen über den eigenen Energieverbrauch liefert und zum Einsparen bewegt. Hier müssen typische *Aktivitäten* des Lebensumfeldes analysiert werden, so dass eine störungsfreie Integration in alltägliche Abläufe stattfinden kann. Die meisten Menschen folgen beispielsweise Ritualen, die sich zu bestimmten Tages- oder Nachtzeiten wiederholen, wie etwa der morgendliche Blick in den Spiegel oder das abendliche Einschalten des Fernsehers.

Weiterer Untersuchungsgegenstand kann die Bedeutung von Räumen oder der soziale Kontext sein: Was passiert in Bereichen innerhalb des Hauses, was außerhalb, in Garten, Hof oder Garage? Was passiert wenn Gäste empfangen werden? Welche Themenkategorien lassen sich im Haushalt finden, zum Beispiel Kochen, Heizen, Putzen oder Freizeitgestaltung? Sind bestimmte Gegenstände regelmäßig im Gebrauch? Welche Beziehung herrscht zwischen diesen Objekten und den identifizierten Aktivitäten?

Mittels einer auf derartige Fragen ausgerichteten Recherche lassen sich neue Einsatzgebiete und Ideen finden. So können Gegenstände des alltäglichen Gebrauchs, wie zum Beispiel Schlüssel, Stühle, Küchengeräte oder Möbel um Eigenschaften erweitert werden, die eine Datenvisualisierung in das Wohnumfeld integrieren. Dieser Trend

⁴¹ Gemeint ist z.B. das eingangs erwähnte öffentliche, politische und kommerzielle Interesse an Umweltschutzthemen in der heutigen Zeit.

wurde bereits in einigen prototypischen Projekten untersucht, die in Wettbewerben wie dem „Greener Gadget Competition“⁴² sogar um die Publikumsgunst und Preise konkurrieren. Das folgende Kapitel stellt einige dieser Ansätze vor, bei denen Möbel, Wände und Dekorationsartikel als persuasive Elemente eingesetzt werden.

⁴² <http://www.core77.com/grenergadgets>

5.2 Bestehende Ansätze

Die im Anhang 9.1 befindliche Tabelle zeigt eine Auswahl von Projekten, die eine Steigerung des Bewusstseins hinsichtlich Energieverbrauchsdaten zum Ziel haben. Dabei bezogen sich die meisten Projekte (27 von 43, entspricht 63%) auf elektronische Systeme, deren Betrieb selbst Energie verbraucht. Aufgrund des Bezugs zum Thema Umweltschutz kommen Begriffe wie „Green(er) Gadgets“ oder „Eco Visualization“ (Holmes, 2007) bei der Beschreibung derartiger Systeme zum Einsatz. Die Klassifikation konkreter Projekte hängt vor allem vom Blickwinkel und Kontext ab. Hinterbichler zieht zum Beispiel in Betracht, ob das System Messdaten aggregiert oder nach Sensor aufgeschlüsselt anzeigt. Er unterscheidet daher nach allgemeinen⁴³, gerätespezifischen⁴⁴ und kombinierten⁴⁵ Darstellungen (Hinterbichler, 2008). Aus Sicht der Mensch-Maschine-Beziehung und der Eingliederung des Konzepts in den alltäglichen Lebensraum kann jedoch auch nach folgenden Objekttypen gruppiert werden⁴⁶:

- **Varianten von Lampen und Leuchten.** Das System erfüllt die Eigenschaften einer Lampe als funktionaler Wohngegenstand. Durch das konkrete Produktdesign lassen sich zusätzlich jedoch auch Rückmeldungen zum Energieverbrauch geben, z.B. durch Sichtbarmachen des Stromflusses (*ENERGY CORD*), Farb- und Helligkeitscodes (*ENERGY ORB*) oder Projektionen (*WATT LITE*).
- **Monitore zur Messwertvisualisierung.** Das direkteste Prinzip der Datenvisualisierung ist die Ausgabe in Textform. Diese lässt sich durch Flüssigkristallanzeigen (LCDs) oder Leuchtdioden spielerisch in verschiedenste Geräte integrieren. Zumeist handelt es sich um Anzeigetafeln in Form von Text (*WATTSON*) oder Diagrammen (*AWARE CLOCK*), die als solche ersichtlich sind und die keine weitere Funktion haben. Manche Werkzeuge sind sogar auf ihre Funktion beschränkt und noch nicht einmal als Designermöbel einsetzbar, wie z.B. Zwischenstecker, den Stromfluss Steckdose und Verbraucher anzeigen (*ENERJAR*).

⁴³ „general“, Zusammenfassung des Gesamtverbrauchs

⁴⁴ „device-specific“, Offenlegung der Messdetails

⁴⁵ „combined“, Mischung beider Varianten

⁴⁶ Aufgrund der Vielzahl von mittlerweile veröffentlichten Projekten auf diesem Gebiet kann diese Liste bestenfalls einen exemplarischen Ausschnitt der Gesamtmenge darstellen.

- **Erweiterung bestehender Elemente.** Um persuasive Systeme in den Alltag zu integrieren, kann eine Erweiterung bereits vorhandener Gegenstände hilfreich sein. Einige kreative Ansätze versuchen eine minimalinvasive Integration z.B. durch Aufsätze, die das Stand-by-Licht eines Gerätes hervorheben, um auf den Stromverbrauch im Ruhemodus aufmerksam zu machen (*STANDBY MONSTER*). Andere Mechanismen setzen direkt an der Nutzerinteraktion an. So wurden schon Lichtschalter vorgestellt, die sich spürbar leichter aus- als einschalten lassen (*SMART SWITCH*) oder die durch die Veränderung visueller Muster beim ein- oder ausschalten das menschliche Streben nach Harmonie nutzen, um gewünschte Ziele zu erreichen (*PUZZLE SWITCH*).
- **Dekorative Wohnaccessoires.** Ganz im Gegensatz zu den reinen Messwertmonitoren versuchen einige Projekte ausdrücklich dekorative Gegenstände zu erschaffen, wovon man sich eine höhere Akzeptanz und damit bessere Integration und Wirksamkeit erhofft. Durch den Einsatz thermoaktiver Materialien entstehen Lampenschirme, deren äußere Form sich durch Hitzeeinwirkung der Leuchtmittel deutlich verändert (*FLOWER LAMP, HEAT SENSITIVE LAMP*). Varianten von Energiemonitoren können ebenfalls dieser Kategorie zugeordnet werden, wenn sie Daten nicht bloß anzeigen, sondern auf eine künstlerisch grafisch ansprechende Weise visualisieren (*ENERGY PLANT*).
- **Experimentierbausteine.** Projekte, die nicht unbedingt dafür konzipiert wurden, in Wohnungen platziert zu werden, sondern durch kreative interaktive Konzepte auf das Energiesparthema als solches aufmerksam zu machen, erinnern oft an Kunstinstallationen. Hier können Ausstellungsbesucher mit den Energieverteilungen experimentieren, in dem z.B. Energie auf verschiedene Verbraucher verteilt wird. Da aber nur ein begrenztes Gesamtbudget verfügbar ist, wird zusätzlicher Verbrauch von bestehenden Elementen deutlich sichtbar abgezogen (*SHARE AWARE LIGHT*). Andere Konzepte veranschaulichen die oftmals außer Acht gelassene Leistung, die zur Energiegewinnung aufgebracht werden muss (*FREE ENERGY WINDER*) oder versuchen durch spielerische Konzepte zum Beispiel auch Kinder für das Thema zu sensibilisieren (*POWER HOG*).

Einige besonders innovative Ideen wurden im Zusammenhang mit Wasser gezeigt, wo zum Beispiel hitze- oder feuchtigkeitsaktives Material die Erscheinung und Haptik von Oberflächen in Küche oder Bad beeinflussen (*ECO DROP TILES*, *HEAT SENSITIVE SHOWER TILES*). Abgesehen davon, dass ein gewisses Fachwissen in Physik oder Chemie zur Konstruktion erforderlich ist, fällt bei diesen Elementen als besonderer Vorteil auf, dass sie ohne die Installation von zusätzlichen Steuergeräten auskommen, selbst keinen Strom verbrauchen und sich sehr gut in bestehenden Raum integrieren (*AWARE HANDLE*, *PUZZLE SWITCH*, *STANDBY MONSTER*, *WINDOW BLINDS*, *LAMP SHADES*, *ENERGY CORD*,...). Eine technische Herausforderung besteht bei diesen nicht-elektronischen Systemen darin, dass eine Rückmeldung oft erst zeitverzögert stattfinden soll. Beispielsweise darf sich nicht sofort bei Einschalten der Dusche, d.h. beim ersten Kontakt mit Wasser, sondern erst nach dem Erreichen einer kritischen Grenze, z.B. nach großem Verbrauch, ein Warneffekt zeigen. Für eine Langzeitfunktionalität muss außerdem sichergestellt werden, dass reaktive Materialien nach Verbrauchsende zu ihrem Originalzustand zurück kehren, also z.B. trocknen oder an Leuchtkraft verlieren.

Beispiele für reaktive Materialien, die sich als mechanisches Monitorsystem einsetzen lassen, um Energiedaten zu visualisieren:

- Fluoreszierende Farbe
- Thermoaktive Farben (temperaturabhängige Farbänderung)
- Thermoaktive Materialien (temperaturabhängige Verformung)
- Feuchtigkeitsaktive Materialien
- Optische Masken oder Linsen
- Mechanische Konstruktionen, z.B. Waagen

Beispiele für Systemaspekte auf elektronischer Basis:

- Errechnete Diagramme und Wertausdrücke
- Steuerung von Signalgebern wie Leuchtmitteln oder Audioquellen
- Übersetzte Repräsentationen, z.B. Bilder oder virtuelle Lebewesen
- Integration von sozialen Netzwerken im Internet

Während etliche stromverbrauchende Geräte eine aktive Beteiligung des Konsumenten erfordern, tendieren die nicht-elektronischen Lösungen dazu, auf eine subtilere Art zu wirken. Nach ihrer Installation bedürfen sie üblicherweise keiner weiteren Bedienung und Wartung (z.B. Ausschalten in der Urlaubszeit) und sie generieren keine zusätzlichen Kosten.

5.3 Künstliche Pflanzen als Methode persuasiver Datenvisualisierung

In Kapitel 4 wurden dynamisch adaptierbare Objekte vorgestellt, deren grafische Form Auskunft über die erzählerischen Inhalte gibt. Diese Inhalte können auch aus Rückmeldungen über Konsumgrößen wie dem Stromverbrauch bestehen und so eine Form von Datenvisualisierung darstellen.

Nach ähnlichem Prinzip arbeitet die mechanische Büropflanze von M. Mateas. Aufgrund der Klassifikation von eingehenden E-Mails in die inhaltlichen Eigenschaften persönlich (intimate), plaudernd (chatty), informierend (fyi), anfragend (request) oder entschuldigend (apology) verändert eine künstliche Pflanze auf dem Schreibtisch ihre äußere Form und blüht beispielsweise auf. Sie nimmt dabei die Rolle eines Kameraden und Kommentators ein und spielt auf die Kultur der klassischen Büropflanze an. (Mateas, 2002)

Gilroy et al verbinden in ihrer Augmented-Reality-Anwendung einen algorithmisch erzeugten, virtuellen Baum mit Emotionssensoren. Unter Zuhilfenahme des PAD-Modells (Mehrabian, et al., 1974; Mehrabian, 1996) werden die Zufriedenheit des Probanden auf die Größe des Baums, Erregung und Interesse auf die Wuchsrichtung, Dominanz auf die Ast- und Blattdicke und eine Kombination aus Erregung und Zufriedenheit auf die Farbe abgebildet. (Gilroy, et al., 2008)

Der in Kapitel 4 vorgestellte Ansatz zu adaptiver Formsprache lässt sich nach diesem Prinzip einsetzen, um Anwender durch Visualisierung des eigenen Energieverbrauchs zu motivieren, sich energiesparend zu verhalten. Dazu wurden die Modelle der adaptierbaren Bäume erweitert und an Sensoren angebunden, wodurch die Verbrauchsbilanz auf den grafischen Gesundheitszustand einer persönlichen virtuellen Pflanze abgebildet wird (Abb. 53). Zwar verfolgen Projekte wie „REGENERATE“ (Reed, 2008), das Mobiltelefone als tragbaren Bildschirm einsetzt oder „FLOWER POD“ (DESIGNNORD, 2008), bei dem ein Monitor in einem abstrahierten Blumentopf zu einem Einrichtungsgegenstand werden soll, eine ähnliche Idee. Soweit ersichtlich, wird jedoch in keinem Fall eine in Echtzeit stufenlos verformbare Grafik eingesetzt, wie dies mittels *adaptiver Formensprache* möglich ist. Sie erlaubt durch Abbildung auf einer pro-

zentualen Skala die visuelle Reaktion auf jeden Wert, der sich in Prozent ausdrücken lässt, während in klassischen Ansätzen oft sichtbare Abstufungen auftreten. Der adaptive Ansatz geht folglich besser auf die Mensch-Maschine-Interaktion ein, weil das Nutzerverhalten in der Regel auch nicht abgestuft, sondern entscheidungsfrei erfolgt. Lediglich Ansätze wie das der „ENERGY PLANT“ (Broms, 2011) nutzt völlig freie Visualisierungen, da eine pflanzenähnliche Struktur vollständig durch einen Algorithmus gezeichnet wird. Das von Broms vorgestellte System wurde jedoch nicht umgesetzt und existiert nur als Konzeptstudie.

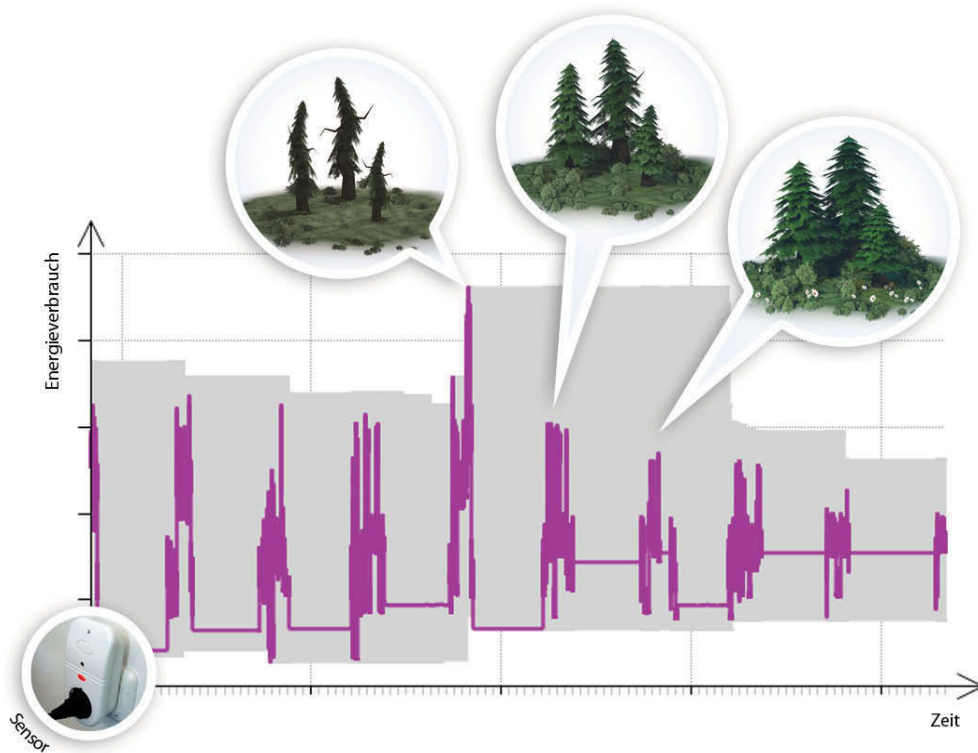


Abb. 53: Prinzip der Energiedatenadaption. Ein Sensor liefert Messdaten zum Stromverbrauch. Wird mehr Strom als bisher verbraucht, befindet sich der virtuelle Garten in einem schlechten Gesundheitszustand. Wird Strom eingespart, verbessert sich die grafische Vitalität.

Reinhart unterscheidet persuasive Projekte nach Einordnung in „Tools“, „Medium/Simulation“ und „Social Actor“ (Reinhart, 2012). Der Einsatz von adaptiver Grafik, wie den in ihrer nonverbalen Aussage wandelbaren Bäumen, ist kein echtes *Werkzeug*, da diese als Instrument zur detaillierten Exploration der angezeigten Daten verstanden wird, adaptive Grafik aber eine Abstraktion darstellt. Es geht hier ganz im Gegenteil weniger darum präzise Daten vorzustellen, als vielmehr Tendenzen und Veränderungen zu zeigen. Durch die bildliche Nähe einer virtuellen Pflanze zum Thema Umweltschutz lässt sich das hier vorgestellte Baumszenario eher als spielerische Simulation einordnen. Der soziale Aspekt findet sich in der Weiterführung der Szene wieder, wenn mehrere adaptive Modelle, die unterschiedlichen Teilnehmern zugeordnet sind, auf einer Vergleichsfläche, wie z.B. einem öffentlichen Bildschirm, angezeigt werden. Die Gegenüberstellung von unterschiedlichen Zuständen der einzelnen Bäume kann dabei den Wettbewerb zwischen den repräsentierten Parteien motivieren.

5.4 Technischer Ansatz

Um komplexe Messdaten zu visualisieren wurde ein Szenario entworfen, in dem Büromitarbeiter durch in den Arbeitsalltag eingebettete Visualisierungen ihres konkreten Stromverbrauchs dazu motiviert werden, ein energiesparendes Verhalten einzunehmen. Die in den Grundzügen bereits vorhandene Visualisierungskomponente wurde dabei um zwei technische Bausteine erweitert: Eine *Rekorderkomponente* zeichnet die Messdaten auf. Ein *Publikationsmodul* bietet eine Schnittstelle zum Abfragen der gesammelten Daten an, die sich durch Visualisierungsmodule wie den adaptiven Pflanzen ansprechen lässt. Abb. 54 stellt den Aufbau der beteiligten Komponenten sowie den Datenaustausch zwischen ihnen dar.



Abb. 54: Schematischer Ablauf der Datenanbindung. Lokale Sensoren zeichnen Messdaten am Arbeitsplatz auf und senden Sie drahtlos an den Rekorder. Dieser sammelt die Messdaten und aggregiert sie zu Nutzerprofilen. Nach Spiegelung verdichteter Daten auf einen Webserver, kann dieser von beliebigen Benutzerschnittstellen abgefragt werden. Diese programmiersprachenunabhängigen Visualisierungsbestandteile bewirken im Idealfall eine Verhaltensänderung beim Anwender, was wiederum zur Einspeisung veränderter Messwerte führt.

5.4.1 Grundsätzlicher Systemaufbau

5.4.1.1 Serverseitiger Datenrekorder

Wie bereits in (Masoodian, et al., 2013) beschrieben, wurde das eigentliche Aufzeichnen von Verbrauchsdaten in einer unabhängigen Server-Software implementiert. Verschiedene Arbeitsplätze wurden in den Büroräumen des Lehrstuhls mit Sensoren ausgestattet, die beispielsweise in Form von Zwischensteckern⁴⁷ den Stromverbrauch beliebiger Verbrauchsgeräte wie z.B. PCs, Bildschirme oder Lampen erfassen (Abb. 55). Im Abstand von ungefähr 20 Sekunden werden diese Daten drahtlos an einen Empfänger gesendet, der wiederum über USB an einen *WINDOWS*-Server angeschlossen ist. Die im Rahmen des Projekts entwickelte Rekorder-Software (Abb. 56) liest diese XML-formatierten Daten aus und speist sie in eine lokale *ACCESS*-Datenbank ein.



Abb. 55: Da die Sensoren der Marke CURRENTCOST in Form von Zwischensteckern geliefert werden (links), lassen sich beliebige Verbrauchsgeräte mit Steckdosenanschluss überwachen. Ein zentraler Empfänger (rechts) sammelt die Daten von bis zu neun Sensoren und liefert sie per USB-Verbindung an einen PC.

⁴⁷ Verwendet wurden die Geräte von „CURRENT COST“, <http://www.currentcost.com/>

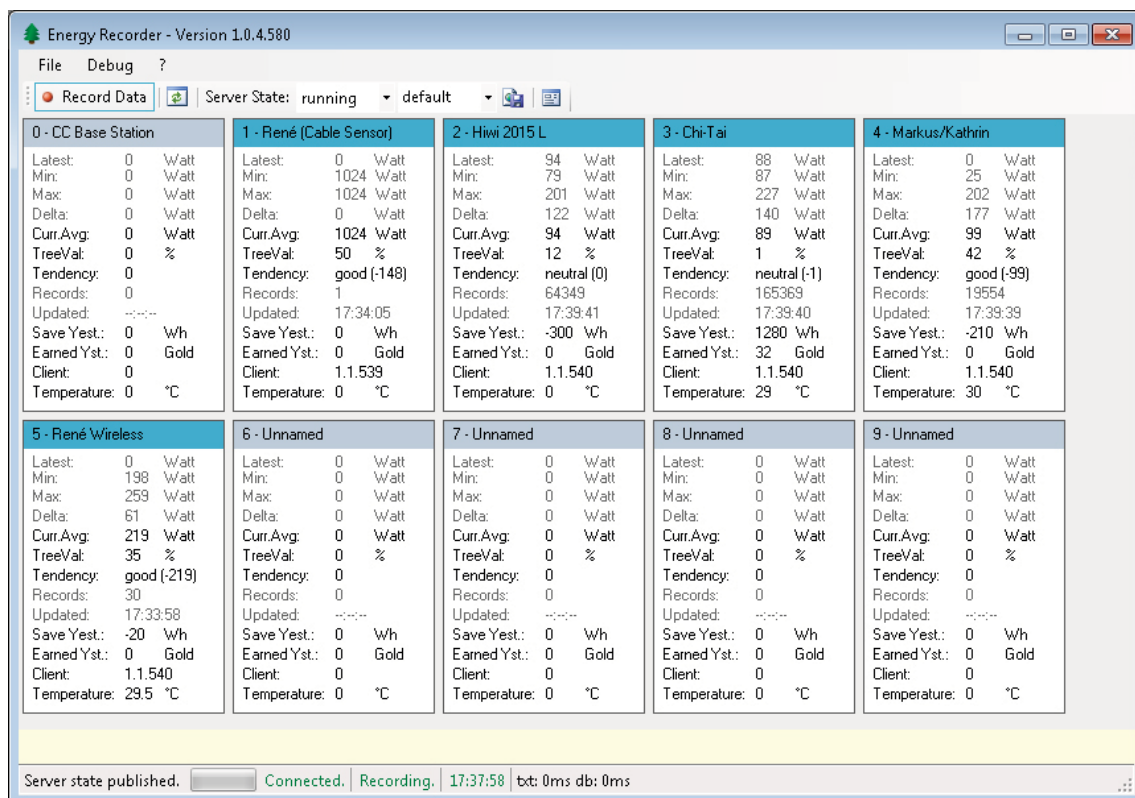


Abb. 56: Grafische Bedienoberfläche der entwickelten Rekorder-Komponente. Jeder Block stellt den Empfänger für einen Sensor dar. Im abgebildeten Beispiel wurden fünf Sensoren (Plätze 1-5) angebunden. Eine Liste der von der Software verwalteten Felder ist in Anhang 9.4 zu finden.

Wie bereits beschrieben, visualisieren die adaptiven Pflanzen keine absoluten Messwerte, sondern einen Prozentsatz. In wohl fast jedem Praxisszenario in dem Verbrauchsdaten aufgezeichnet werden, dürften die gewonnenen Größen relativ zu individuellen Kontexten und Einflussfaktoren sein. So lässt sich beispielsweise *nicht* anhand einer festen Messzahl definieren, ob der Stromverbrauch eines Arbeitsplatzes „gut“ oder „schlecht“ ist, wenn sich z.B. die Geräteausstattung unterscheidet. Einige Mitarbeiter verwenden z.B. einen zweiten Monitor oder benötigen zusätzliche Hardware für ihre Arbeit, was höheren Stromverbrauch legitimiert. Auch der konkrete Arbeitsvorgang muss berücksichtigt werden. Arbeitet ein Mitarbeiter den ganzen Tag tatsächlich am Computer, so ist dessen Energieverbrauch anders zu bewerten, als der eines Mitarbeiters, der lange Zeit in Besprechungen verbringt, während sich sein PC im Leerlauf befindet.

Um dennoch vergleichbare Daten zu erhalten, gibt es zwei Möglichkeiten:

1) Neutralisierung des Szenarios: Um wissenschaftliche Vergleichbarkeit herzustellen, werden alle Versuchsteilnehmer mit identischen Konditionen ausgestattet, was aber zu einem sehr konstruierten Szenario führt. Dieses könnte nur in Form eines Experiments mit definierten Arbeitsaufgaben über einen begrenzten Versuchszeitraum eingesetzt werden, lieferte durch Elimination der Seiteneffekte aber aussagekräftige Ergebnisse.

2) Relativierung der Daten: Möchte man, wie im Rahmen der vorliegenden Arbeit, ein möglichst reales Alltagsszenario untersuchen, so werden nicht mehr absolute Messdaten verglichen. Statt dessen wird der Verbrauchsverlauf berücksichtigt und die momentan gemessenen Daten in Relation zum „üblichen Verbrauch“ des individuellen Messpunktes gesetzt. Die Anwendung dieses Verfahrens bewirkt, dass Teilnehmer unabhängig von ihrer konkreten Geräteausstattung in Form von relativen Verbrauchswerten verglichen werden können. Es geht dabei nicht mehr darum, genaue Zahlen darzustellen, sondern Verbrauchstendenzen aufzuzeigen.

Zur Umsetzung der Datenrelativierung finden zusätzlich zur reinen Aufzeichnung bereits erste Interpretationen durch die Rekorder-Software statt, so dass individuelle Verbrauchsprofile entstehen. Die Bewertung des aktuellen Verbrauchs in Form von „relativ gut/schlecht“ spiegelt sich in einem Prozentwert wieder, dem *TreeValue*. Die Namensgebung lässt bereits darauf schließen, dass dieser Wert als direkter Eingangswert für die Visualisierung durch adaptive Baumgrafiken verwendet werden kann. Formel 1 skizziert das Prinzip nach dem dieser Wert errechnet wird.

$$treeVal = \frac{normalizedCurrent}{scaleLen} * 100 = \frac{currentwatt - minwatt}{maxwatt - minwatt} * 100$$

Formel 1: Berechnungsschema für den „TreeValue“ einer Messstation. Der aktuelle Messwert⁴⁸ wird in den Wertebereich von in der Vergangenheit aufgezeichneten minimalem und maximalem Wert⁴⁹ eingeordnet. Das Ergebnis markiert dabei die aktuelle Position innerhalb der für diesen Messpunkt „üblichen Verbrauchsspanne“. Ein Wert von 50 wird als neutrales Mittel interpretiert. Eine Verschiebung gegen 0 bedeutet Einsparung, d.h. eine Verbesserung hinsichtlich des Ziels weniger Energie zu verbrauchen. Ein Wert zwischen 50 und 100 zeigt einen höheren Verbrauch, d.h. eine Verschlechterung, an.

Zu Zwecken der Entwicklung, Diagnose und Bewertung der aufgezeichneten Daten, lassen sich diese direkt in der Recorder-Software in Form eines klassischen Graphen visualisieren. Abb. 57 zeigt eine solche Ausgabe für einen Testzeitraum von ca. 10 Tagen, in der die purpurfarbene Linie den Verlauf der tatsächlichen Messwerte nachzeichnet. Die für die *TreeValue*-Generierung verwendete Verbrauchsskala, die sich aus Minimum- und Maximum-Werten ergibt, zeigt sich in Form der grauen Fläche. Bei einer neutralen Verbrauchsbilanz verlief der Graph also in der vertikalen Mitte der grauen Fläche. Besonders hohe oder tiefe Pegelausschläge zeigen Extremwerte, die die Ober- und Untergrenze der Verbrauchsskala entsprechend verschieben. Auffällig ist das Auftreten von „Ausschlags-Paketen“, die durch Leerräume mit konstanten Messwerten unterbrochen scheinen. Hierbei handelt es sich um Zeiten in denen kein Messwert aufgezeichnet wurde, was zum Beispiel jeden Abend nach Abschalten der Arbeitsplatzgeräte oder an Wochenenden (z.B. 22.-23.03.14) der Fall ist. Der Graph fällt in diesen Zeiten nicht auf null. Statt dessen werden fehlende Zeiträume ignoriert bzw. mit dem zuletzt erfassten Messwert gefüllt, was eine tägliche Neutralisierung der Energiebilanz durch nächtliche Ruhezeiten verhindert. Dieses Überspringen der Fehlzeiten erklärt zudem, warum auch die Grenzen der persönliche Werteskala scheinbar verspätet neu definiert werden.

⁴⁸ Da es bei realen Messwerten immer zu minimalen Schwankungen kommt, wird der Durchschnitt der letzten zehn Werte als aktueller Wert verwendet. Bei einem lückenlosen Aufzeichnungsintervall von 20 Sekunden entspricht dies dem Verbrauchsmittelwert der letzten drei Minuten.

⁴⁹ Es werden Minimum und Maximum aus den letzten 15000 Werten betrachtet. Bei einem lückenlosen Aufzeichnungsintervall von 20 Sekunden entspricht dies dem Verbrauchsmittelwert der letzten drei Tage.

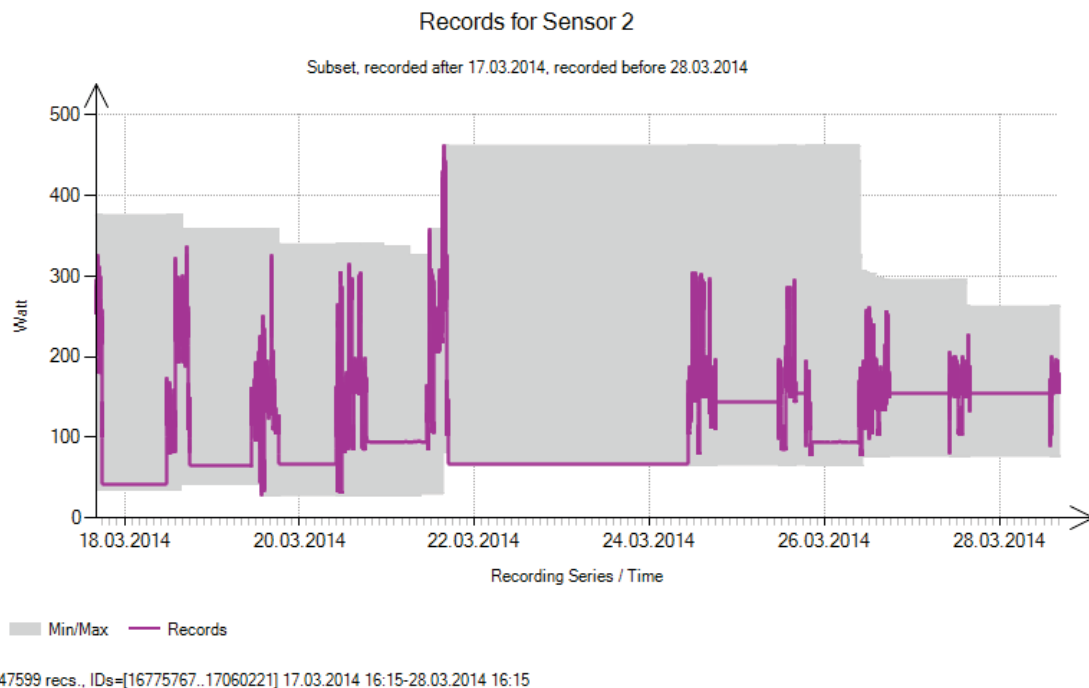


Abb. 57: Klassische Graphenvisualisierung der innerhalb von ca. zehn Tagen aufgezeichneten Daten, wie sie von der Rekorder-Software zu Diagnosezwecken generiert werden kann. Die graue Fläche markiert die relative Verbrauchsskala anhand derer der aktuelle Verbrauch bewertet wird.

Messintervalle, Datenvolumen und Verdichtungsstrategien

Die *CURRENT COST*-Sensoren liefern ihre aktuellen Messdaten in Intervallen von ca. **20 Sekunden** an die Rekorder-Software. Es kann allerdings jederzeit zu Unregelmäßigkeiten und Ausfällen kommen, etwa wenn physische Objekte, Personen oder Gebäudeteile die Konnektivität zwischen Sensor und Empfängerstation einschränken. Die Anzahl der erfassten Datensätze kann daher stark variieren. Zeiten ohne Messwert werden in der vorliegenden Architektur mit dem zuletzt verfügbaren Wert überbrückt. Aufgrund dieser pragmatisch bedingten Variabilität der Datendichte wäre es für den langfristigen Einsatz dieser Technologie unbedingt erforderlich, den Geräteaufbau sorgfältig zu kontrollieren und deren Verbindungsstabilität sicherzustellen.

An einem gewöhnlichen Arbeitstag entstehen ca. 3000 Datensätze pro Sensor, die in einem Zeitfenster von **14 Tagen** im Detail vorgehalten werden. Da das Datenvolumen nicht nur die Speicherkapazität, sondern auch die Abfragekomplexität beeinflusst, werden ältere Aufzeichnungen gelöscht und lediglich Tages- und Monatsaggregationen beibehalten. Ähnlich wird in vergleichbaren Projekten verfahren, bei denen hohe

Datenmengen auftreten. Das Aufzeichnungsvolumen der Projektarbeit „Wetterstation“ (Gruber, et al., 2013) würde beispielsweise 7,3 GB pro Jahr einnehmen, weshalb eine entsprechende Verdichtung vorgenommen wurde.

Etwa alle **2 Minuten** findet eine Aktualisierung der Datenbankauswertung und der daraus errechneten Größen statt. Der Wert, der als Maßzahl für den momentanen Verbrauch dient, errechnet sich aus dem **Durchschnitt der letzten 10** aufgezeichneten Daten, um das Signalrauschen zu glätten, das durch minimale Unterschiede zwischen einzelnen Messungen auftritt. Es findet also eine *Erweiterung* der Betrachtung statt, d.h. es kommt zu einer Form der Verallgemeinerung der Aufzeichnungsdetails. Im Gegensatz dazu definieren sich die Grenzen des persönlichen Verbrauchskorridors durch eine *Einschränkung* der einbezogenen Daten. Würde stets das *jemals* gemessene Minimum bzw. Maximum ermittelt werden, würden sich diese Werte – und vor allem die Obergrenze, die gesenkt werden soll – kaum mehr verändern. Das hätte wiederum zur Folge, dass sich die Effekte einer Verhaltensänderung schwerer visualisieren ließen, was eine Abschwächung der wichtigen Rückmeldung bedeutet. Die Auswahl der Maxima aus den **letzten 15000 Datensätzen** hingegen, was bei fehlerfreier Aufzeichnung etwa drei Arbeitstagen entspricht, bewirkt potentiell häufigere Neuberechnungen und sorgt damit für mehr Dynamik in der individuellen Einordnung und Bewertung der Ergebnisse.

5.4.1.2 Clientseitiger Datenrecorder

Da die Messdaten der *CURRENT COST*-Sensoren über einen zentralen Empfänger erfasst werden, lässt sich dieser direkt mit dem Server verbinden. Für die Analyse des tatsächlichen Nutzerverhaltens kann es erforderlich sein, zusätzliche Daten aufzuzeichnen, etwa das An- und Abmelden am Rechner, die Aktivierung von Bildschirmschonern oder Messergebnisse weiterer Sensoren. Zu diesem Zweck wurde die vorliegende Architektur um eine Software erweitert, die auf jedem Mitarbeiterrechner ausgeführt wird. Das auf Modularität und einfache Erweiterbarkeit ausgelegte Programm unterstützt bereits die Aufzeichnung von Temperaturdaten mittels eines USB-gesteuerten Raumthermometers, sowie die Protokollierung der Anwesenheit von Personen vor dem Rechner (Abb. 58). Die gewonnenen Daten werden im Minutentakt an den Publikationsserver gesendet.

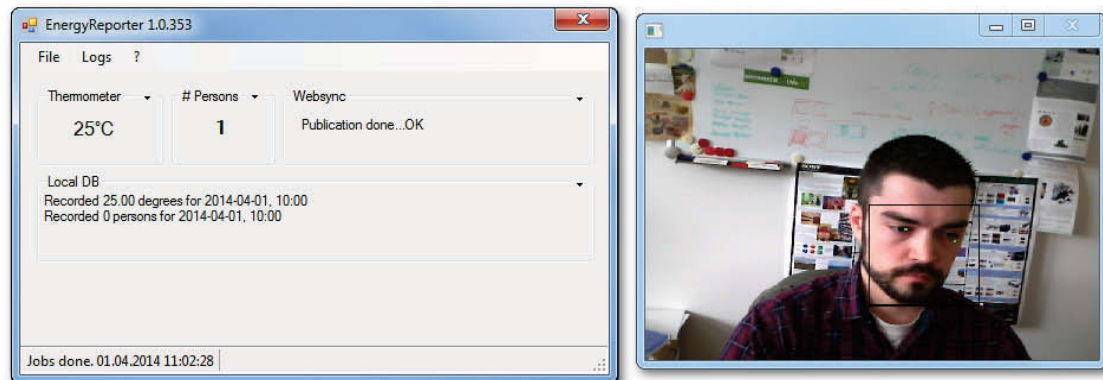


Abb. 58: Zwar läuft die Anwendung zur Erfassung lokaler Daten unsichtbar im Hintergrund, doch lässt sich bei Bedarf auch die hier gezeigte Programmoberfläche zur Konfiguration und Inspektion öffnen. Links: Prototypisch werden zunächst Raumtemperatur und Nutzerpräsenz aufgezeichnet. Letzteres geschieht durch Anwendung von Gesichtserkennungsalgorithmen auf das Bild einer Webcam⁵⁰. Rechts: Im für Entwicklungszwecke verfügbaren Kamerabild markiert das schwarze Rechteck das erkannte Gesicht. Grüne Punkte markieren die Position der Augen.

⁵⁰ Implementiert durch Björn Kaup im Rahmen einer studentischen Projektarbeit, unter Nutzung der Software für *SOCIAL SIGNAL INTERPRETATION (SSI)*, <http://hcm-lab.de/projects/ssi>

5.4.1.3 Publikationsserver

Der hinsichtlich der Visualisierung wichtigste Bestandteil der Datenkomponente ist ein Webserver, der selbst nur minimale Logik implementiert und hauptsächlich Schnittstellen zum Speichern und Abrufen der aufgezeichneten Daten anbietet. Durch seine Eigenschaft als gewöhnlicher LAMP-Server⁵¹ steht der Abfragebefehlssatz jeder Software, die http-Abfragen durchführen kann, auf jedem internetfähigen Gerät zur Verfügung. Die *lose Kopplung* von Rekorder und Webserver bewirkt zudem, dass sich die Anforderungen von rechenintensiven Operationen der Aufzeichnungskomponente und möglichst unterbrechungsfreier Verfügbarkeit der Abfrageschnittstellen nicht gegenseitig einschränken. Nachfolgende Tabelle 3 benennt einige Visualisierungsprojekte, die diese Datenquelle nutzen.

Projektname	Technik
Girls'Day 2012 Schatzsuche	Flash (Browser)
Energy-Trees Desktop-Intergration	C# (WinForms)
TimePie für iPad	C++ (iOS)
TimePie für Android	Java (Android)
Virtueller Drache	Python (Blender)
Administrations- und Entwickler-GUI	PHP bzw. JavaScript (Browser)

Tabelle 3: Visualisierungsprojekte, die die Daten des Publikationsservers nutzen. Durch die einfache webserverbasierte Abfrageschnittstelle können unterschiedlichste Technologien und Sprachen auf die selbe Infrastruktur zugreifen, was eine saubere Abkopplung von Daten und Darstellung realisiert.

Die in Anhang 9.5 befindliche Liste gibt einen Eindruck über die Leseabfragen, die an den Server gesendet und von Visualisierungskomponenten interpretiert werden können. Welche Daten und Sensoren tatsächlich relevant sind, hängt vom Client-Konzept bzw. dem Anwendungsfall und Versuchsaufbau ab.

Auf dem Server werden zwei Zustandswerte gehalten, die den Status der Software beschreiben. Der *Server-Status*, der vollautomatisch an den Lebenszyklus der Recorder-Software gebunden ist, kann die Werte „running“ und „stopped“ annehmen. Die Visualisierungskomponente kann dadurch auf Zustandswechsel mit lokaler Logik reagieren, wenn die Datenaufzeichnung serverseitig unterbrochen wurde. Da, bedingt

⁵¹ Akronym für die weit verbreitete Komponentenkonfiguration Linux-Apache-MySQL-PHP.

durch die Rückfallstrategien in der Datenhaltung, eventuell veraltete Daten visualisiert werden, kann ein entsprechender Hinweis (Abb. 59) eine wichtige Information für den Anwender darstellen.

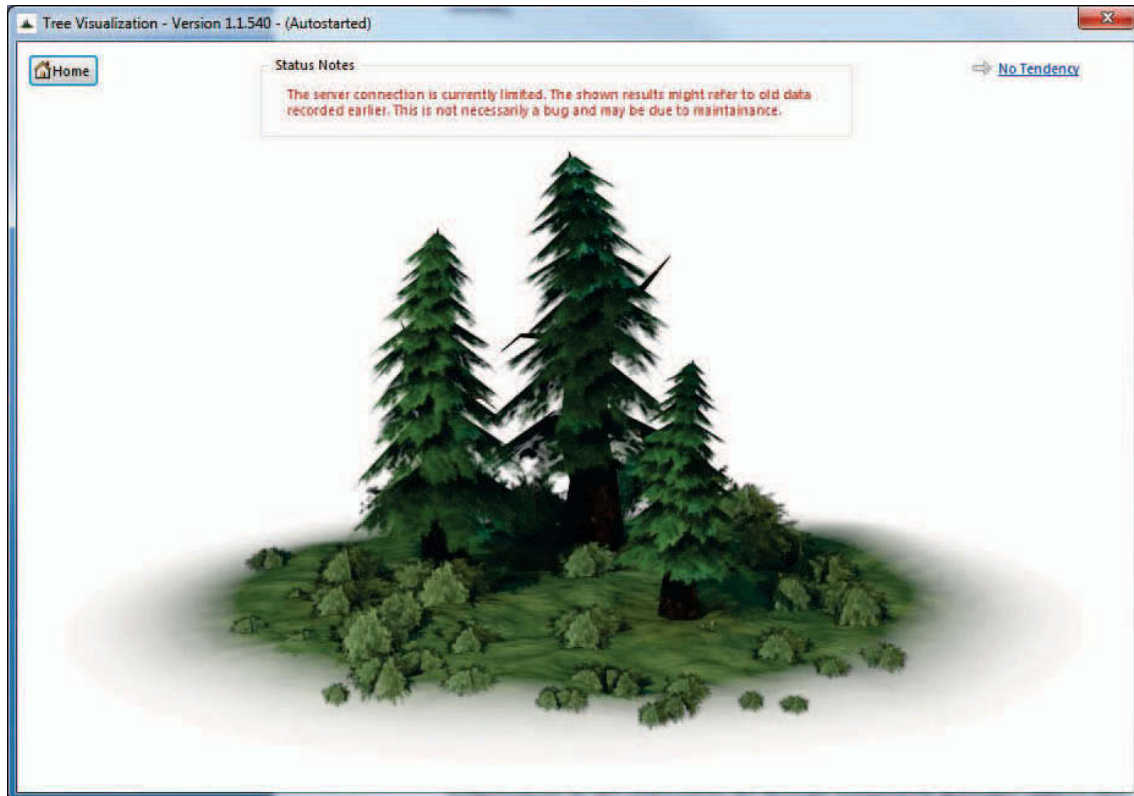


Abb. 59: Bei Ausfall des Rekorder-Servers kann die Visualisierungsschicht darauf hinweisen, dass die der Darstellung zugrunde liegenden Daten möglicherweise veraltet sind.

Der Server-Modus gibt zusätzlich an, ob sich der Recorder im *Normalzustand* oder einer *Pausierung* befindet. Letztere signalisiert dem Client, dass der Server zwar ausgeführt wird, die Client-Aktivität aber gezielt eingeschränkt werden soll. Mit diesem Modus ließen sich z.B. Visualisierungen auf Versuchsgeräten in den Phasen eines Experiments zentral ein- oder ausschalten.

5.5 Formsprache als visueller Auslöser

Auslöser („Trigger“) geben in Foggs „Behaviour Model“ (siehe Seite 102) Impulse, die den Kontakt zwischen Anwender und angestrebtem Ziel aufrecht erhalten. Damit sich eine Visualisierung einsetzen lässt, um das eigene Energiesparverhalten zu reflektieren und Verhaltensänderungen zu motivieren, muss sie mit Auslösereigenschaften versehen werden. Eine zentrale Herausforderung liegt dabei in der Frage, wie die Grafik dem Anwender so oft präsentiert werden kann, dass eine regelmäßige Beschäftigung damit stattfindet und die transportierte Information übermittelt wird ohne aufdringlich zu wirken oder zu stören. Tabelle 4 listet verschiedene Ansätze für die Integration des adaptiven Gartens in den Arbeitsplatz auf und benennt einige Vor- und Nachteile der jeweiligen Präsentationsform.

	Perzeption	Unterbrechung	Energie-Bilanz	Verlaufswahrnehmung
Desktop-Hintergrundbild	Überlappung mit Fenstern, abhängig vom Arbeitsstil und Ausstattung (z.B. zweiter Monitor).	Nahtlose Integration in Arbeitsplatz und Tagesablauf.	Nutzung vorhandener Ressourcen.	Stetige Synchronisation, kein expliziter Betrachtungszeitpunkt definierbar.
Symbol in Anwendungsleiste	Schnell eintretende Gewöhnungseffekte und leichtes Übersehen.	Nahtlose Integration in Arbeitsplatz und Tagesablauf.	Nutzung vorhandener Ressourcen.	Sehr kleine Grafik, Veränderungen kaum zu erkennen.
Bildschirmschoner	Sichtbar bei Nutzerabwesenheit oder Unaufmerksamkeit. Ggf. bei Rückkehr sichtbar.	Nahtlose Integration in Arbeitsplatz und Tagesablauf.	Laufzeit des Bildschirmschoners ist potentielle Energie-sparzeit, in der der Monitor besser ausgeschaltet werden sollte.	Animation nur direkt bei Start des Bildschirmschoners sichtbar.
Nachrichtenfenster (z.B. stündlich)	Ausdrückliche Aufforderung die Grafik anzusehen.	Aggressive Unterbrechung der eigentlichen Arbeit.	Nutzung vorhandener Ressourcen.	Klar definierbarer Präsentationszeitpunkt.
Fotorahmen (Hardware)	Immer sichtbar, unklar ob und wann der Anwender hinsieht.	Nahtlose Integration in Arbeitsplatz und Tagesablauf.	Strom für den Betrieb des Rahmens erforderlich.	Stetige Synchronisation, kein expliziter Betrachtungszeitpunkt definierbar.

Tabelle 4: Alternative Ansätze zur Integration der Präsentation von Adaptiver Grafik in den vorhandenen Arbeitsplatz. Rot: Nachteile bzw. ungünstige Eigenschaften. Grün: Vorteile bzw. erstrebenswerte Effekte.

Die Eignung der Präsentationsverfahrens wird in Tabelle 4 anhand folgender Attribute eingestuft:

- **Perzeption:** Um eine deutliche Sichtbarkeit der Visualisierung zu gewährleisten, sollten sowohl Verdeckungen als auch leicht zu übersehende Platzierungen vermieden werden. Im Idealfall sehen außerdem alle Teilnehmer die Visualisierung mit gleicher Häufigkeit, was aber in realen Szenarios aufgrund der unterschiedlichen Alltagsrituale bei einem minimalinvasiven Ansatz kaum sicherzustellen ist.
- **Unterbrechung:** Keinesfalls darf die Aufmerksamkeit auf die Visualisierung gezwungen werden, da dies dazu führte, dass Anwender das System als lästig und unerwünscht empfänden. Statt dessen ist eine möglichst nahtlose Integration in den vorhandenen Arbeitsfluss anzustreben.
- **Energie-Bilanz:** Kommen zusätzliche Darstellungsgeräte zum Einsatz, so sind diese häufig selbst strombetrieben, was hinsichtlich der gewünschten Energiesparziele kontraproduktiv erscheint. Selbst die Eignung von Software-Lösungen, die den ohnehin laufenden Arbeitsrechner nutzen, stehen in der Diskussion Energie zu verbrauchen.
- **Verlaufswahrnehmung:** Die Effizienz des Sichtbarmachens von Verbrauchsdaten lässt sich dadurch erhöhen, dass dem Verbraucher die Möglichkeit gegeben wird, die aktuellen Daten mit früheren zu vergleichen (Fischer, 2008). Im Fall der Baumvisualisierung spielt sich dieser Vergleich in Form von Animationen ab, d.h. durch die animierten Übergänge zwischen zwei Zuständen. Liegt zunächst die Annahme nahe, es sei am besten, wenn die Visualisierung möglichst oft oder sogar konstant sichtbar ist, so wird die Animation möglicherweise bewusster wahrgenommen werden, wenn die Betrachtung in einzelnen Zeitintervallen erfolgt. Zwischen zwei Zeitpunkten ist die Veränderung der Daten potentiell größer und die Animation ist folglich deutlicher wahrnehmbar als eine immer stattfindende „schleichende“ Aktualisierung im Hintergrund.

Zur praktischen Erprobung wurden die Arbeitsplätze von drei Lehrstuhl-Mitarbeitern, die sich zur Teilnahme bereit erklärten, mit *CURRENT COST*-Sensoren ausgestattet, die den Stromverbrauch der Arbeitsplatzgeräte (Monitore, PCs, eventuelle Peripherie wie externe Festplatten) dokumentierten. Für die Visualisierung kam die Präsentationssoftware auf dem Arbeitsplatzrechner zum Einsatz, bei der ein stündliches Erinnerungsfenster zum Einsatz kam (Abb. 60).

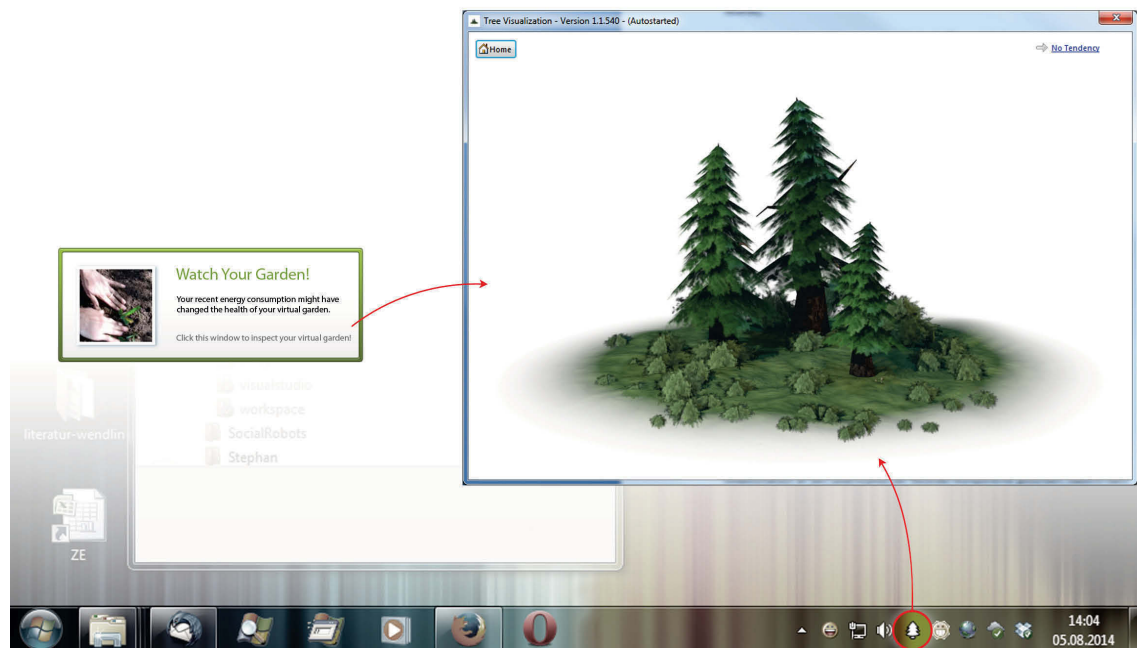


Abb. 60: Im experimentellen Aufbau erscheint stündlich eine Meldung, die an die Inspizierung des Gartens erinnert. Per Klick auf diese Nachricht öffnet sich die Visualisierung, die zudem jederzeit per Klick auf das neben der Uhr befindliche Benachrichtigungsfeld zugänglich ist.

Bewertung der Präsentationsmethoden

Da ein Nachrichtenfenster, das in definierten zeitlichen Intervallen auftaucht, die meisten Vorteile in Tabelle 4 aufweist, scheint dies das Mittel der Wahl zu sein. Allerdings spielt nicht nur die Quantität von grundsätzlich positiven Eigenschaften eine Rolle, sondern auch deren Qualität und Gewichtung im Detail. Wie der Praxistest bestätigte, wiegt die Beeinträchtigung des Arbeitsablaufs, die durch ein auftauchendes Fenster erscheint, stärker als z.B. eine eingeschränkte Sichtbarkeit. Die Integration in Form eines Bildschirmschoners, der mit einer kurzen Aktivierungszeit von 2 Minuten relativ schnell in inaktiven Arbeitsphasen auftaucht, schien den besten Kompromiss zwischen Unterbrechungsfreiheit von und Integration in den Arbeitsablauf darzustellen. Die Varianten Desktop-Hintergrund und Symbol in der Anwendungsleiste schienen vor allem durch die häufige Überlagerung mit Programmfenstern bzw. der geringen Bildauflösung für grafische Rückmeldungen weniger geeignet. Der zusätzliche Fotorahmen wurde nicht umgesetzt, da sein eigener Energieverbrauch den Einsparungszielen entgegen steht.

Im Folgenden wird evaluiert, welche Wirkung die Formsprache an sich im Vergleich zur sachlichen Grafik „TimeStack“ auf Nutzer hat.

5.6 Gegenüberstellende Evaluierung von sachlicher und ästhetischer Energiedatenvisualisierung

In der Informatik werden, aus der *Usability*-Forschung kommend und vor dem oft sachlich motivierten Gestaltungshintergrund, häufig Evaluierungstechniken angewandt, die sich auf die unmittelbare Gebrauchstauglichkeit und Funktionalität eines Produkts bezieht. Es handelt sich dabei um *pragmatische* Qualitäten (PQ), die den Bedarf des Anwenders bedienen, die Umwelt kontrolliert manipulieren zu können. Hassenzahl et al. sehen jedoch die Notwendigkeit weitere menschliche Bedürfnisse in der qualitativen Beurteilung von Produkten zu berücksichtigen. *Hedonische* Eigenschaften interaktiver Produkte beziehen sich einerseits auf das Bedürfnis nach Stimulation (HQ-S), d.h. auf vom Produkt ausgehende Anreize, die z.B. die persönliche Entwicklung fördern. Dazu gehört das Verbessern von Fähigkeiten und Kenntnissen oder das Erhöhen von Aufmerksamkeit und Motivation. Andererseits transportieren hedonische Eigenschaften auch identitätsbildende Merkmale (HQ-I), d.h. die Wirkung des Produkts wird durch eine besonders professionelle, coole oder moderne Erscheinung geprägt, mit der sich der Anwender identifiziert. Anhand der Qualitäten erzeugt das Hassenzahlsche System schließlich eine Gesamtbewertung, die die Attraktivität der untersuchten Produkte beschreibt. (Hassenzahl, et al., 2003)

Pragmatische als auch hedonische Qualitäten sind voneinander unabhängig, beziehen sich aber beide jeweils auf subjektive, persönliche Eindrücke. Sind beide Qualitäten gleich stark ausgeprägt, handelt es sich nach Hassenzahl um das beste Bewertungsergebnis, weil der Anwender nicht nur (funktional oder ästhetisch) zufrieden gestellt wird, sondern darüber hinaus Freude empfindet. Eine schwache Ausprägung beider Qualitäten stellt dagegen das schlechteste Ergebnis dar.

5.6.1 Untersuchungsgegenstand / These

Durch Bewertung der pragmatischen und hedonischen Eigenschaften von sachlicher und ästhetischer Gestaltung sollen die Qualitäten des jeweiligen Ansatzes ermittelt werden. TimeStack dient dabei als sachliche, die adaptiven Bäume als ästhetische Konkretisierung. Es wird erwartet, dass sachliche Gestaltung eine höhere Ausprägung pragmatischer Werte aufweist, während sich ästhetische Gestaltung durch hedonische Qualitäten charakterisiert.

5.6.2 Aufbau

Zur Bewertung des ästhetisch motivierten Gestaltungsansatzes wurde dieser dem sachlich motivierten Visualisierungsprinzip gegenübergestellt und mit dem von Hassenzahl entwickelten Fragebogen *ATTRAKDIFF* ⁵² zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität evaluiert. In diesem werden für jedes Produkt 28 Wortpaare (siehe Anhang 9.3.1) aus gegensätzlichen Adjektiven (z.B. originell-konventionell) präsentiert. Die Versuchsperson drückt ihren subjektiven Eindruck für jedes Paar auf einer 7-Punkt-Likert-Skala aus.

Als Bewertungsobjekte dienen a) der virtuelle, adaptive Garten sowie b) TimeStack-Diagramme. Um beide Visualisierungen vergleichen zu können, wurde ein fiktives Anwendungsszenario konstruiert, das den Teilnehmern in Form eines kurzen Beschreibungstextes vorgestellt wird:

„Bei einem Blick auf die Energieanzeige stellen Sie fest, dass Ihr Energieverbrauch ungewöhnlich hoch ist. Sie entschließen sich zu einem sparsameren Umgang mit Energie.“ und „Nach einem Monat stellen Sie bei einem erneuten Blick auf die Energieanzeige fest, dass Sie weniger Energie als üblich verbraucht haben.“

Beide Visualisierungen arbeiten nach einem unterschiedlichen Prinzip: der adaptive Garten drückt Änderungen in Messdaten durch eine zeitliche Veränderung aus. Hierfür ist eine Animation erforderlich. TimeStack dagegen drückt zeitliche Veränderungen durch unterschiedliche Proportionen in einem statischen Diagramm aus. Würde man eine Animation einem statischen Bild gegenüberstellen, bestünde die Gefahr, dass die Bewegung an sich grundsätzlich mehr Anreize schafft als ein Bild. Im umgekehrten Fall lässt sich das Konzept der temporalen Adaption nicht in einem statischen Einzelbild ausdrücken, so dass der bereits statisch konzipierte TimeStack automatisch im Vorteil wäre. Um das Risiko einer solchen Bevorteilung zu verhindern, wurde der Mittelweg gewählt: zwar werden statische Bilder gezeigt, jedoch von zwei unterschiedlichen Situationen bzw. Zeitpunkten.

Auf dem Bildschirm erscheinen in einer Spalte neben dem Fragebogen die beiden Visualisierungsformen mit kurzer Erklärung. Oben wird eine Visualisierung für den Zustand „weniger Strom als üblich verbraucht“, darunter eine Grafik für „mehr Strom als üblich verbraucht“ gezeigt. Abb. 61 enthält das Bildschirmlayout für den adaptiven Garten, Abb. 62 die Entsprechung für die Präsentation der TimeStack-Varianten.

⁵² <http://www.attrakdiff.de>

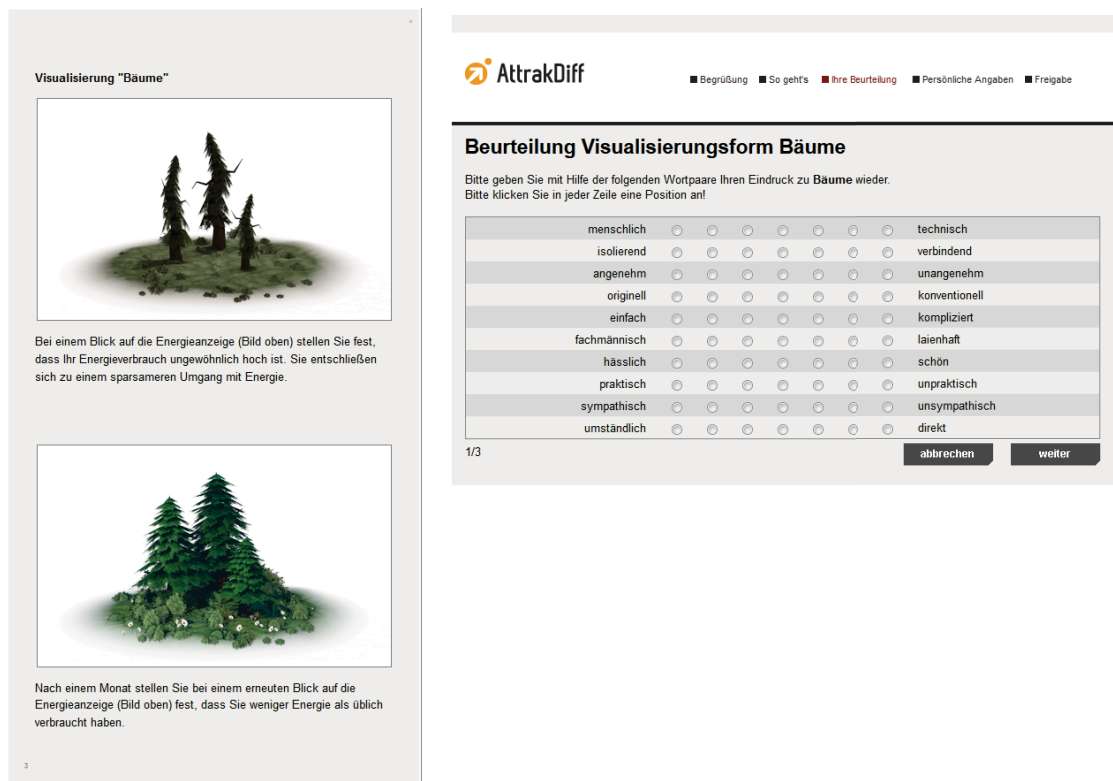


Abb. 61: Adaptiver Garten für Verschwendung (oben) und Einsparung (unten) neben dem Fragebogen.

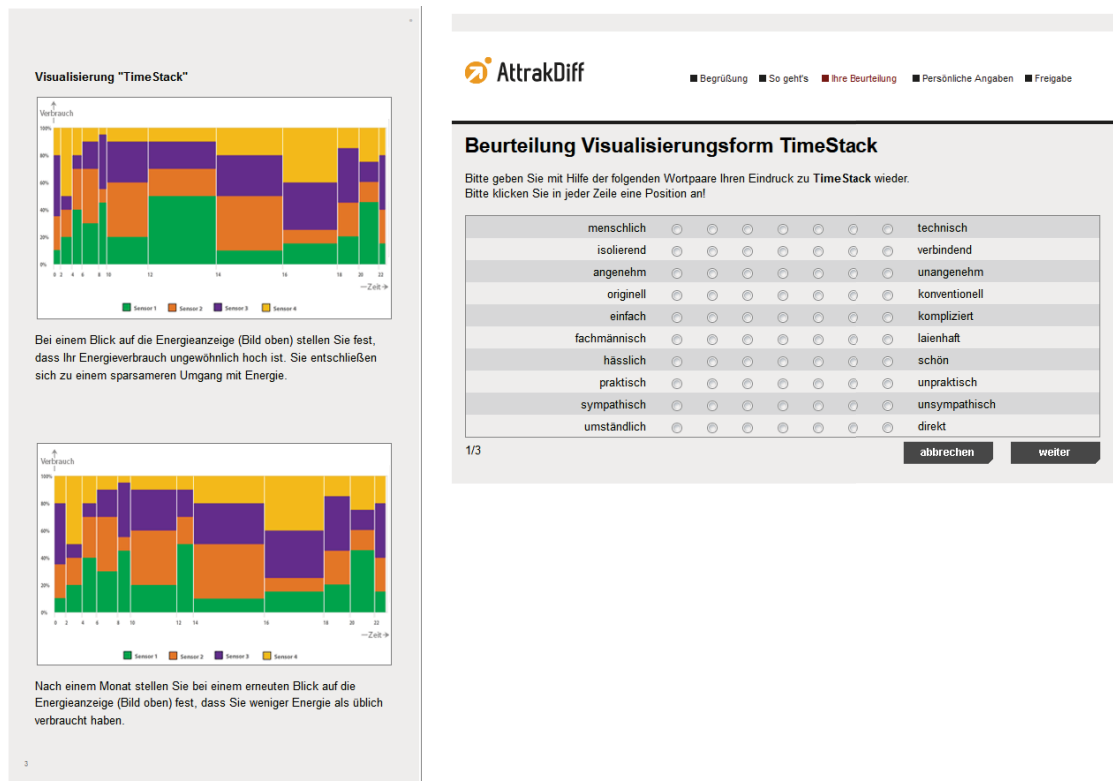


Abb. 62: TimeStack-Grafik für Verschwendung (oben) und Einsparung (unten) neben dem Fragebogen.

Das Online-Angebot von *ATTRAKDIFF* berücksichtigt den Vergleich zweier Produkte, in diesem Fall Visualisierungssysteme, bietet aber keine direkte Möglichkeit Grafiken einzubinden oder den Fragebogen beider Produkte automatisch hintereinander zu schalten. Obwohl der Fragebogen an sich unmissverständlich ist, entstehen durch die erforderliche Eigenverantwortlichkeit der Teilnehmer Risiken, die eine Online-Befragung erschweren. Damit Teilnehmer den Fragebogen ohne Überwachung durch eine Versuchsperson gradlinig durchlaufen können, wurden die Einschränkungen mittels Einbindung des Dienstes in einen durch eigene PHP-Skripte kontrollierten Prozess umgangen und der in Abb. 63 dargestellte Ablauf realisiert.

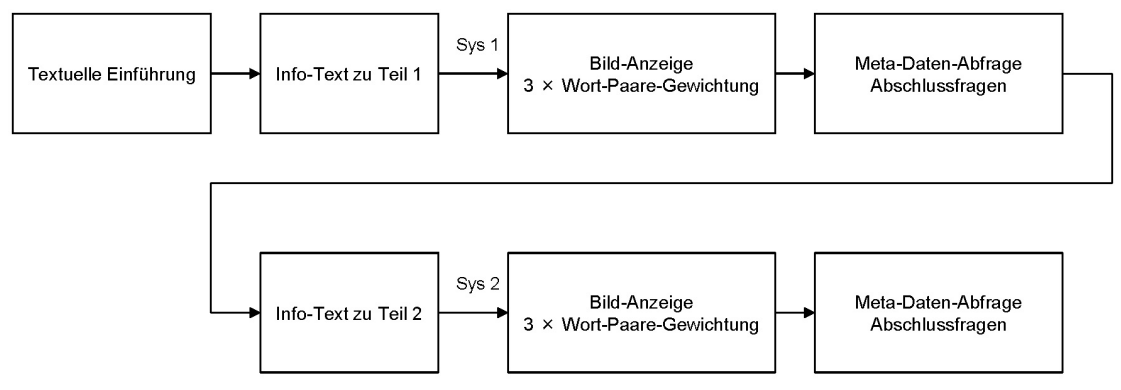


Abb. 63: Aufbau des Experiments. Sys 1 und Sys 2 stellen die in zufälliger Reihenfolge gewählten Gestaltungsverfahren „sachlich“ und „ästhetisch“ dar.

Durch einen per E-Mail zugesandten Link erreichen Teilnehmer den Fragebogen, der mit Erklärungen zum Verfahren beginnt. Anschließend wird im Zufallsverfahren TimeStack oder der adaptive Garten ausgewählt, die Grafik angezeigt und der entsprechende *ATTRAKDIFF*-Fragebogen angezeigt. Dieser endet mit einer Abfrage der Meta-Daten sowie einem Zusatzfragebogen. Letzterer bezieht sich auf den dargestellten Anwendungsfall als Energiedatenvisualisierung sowie dem Kontext der vorliegenden Arbeit. Die Bewertung erfolgt, entsprechend dem Schema der *ATTRAKDIFF*-Fragen, jeweils per 7-Punkt-Likert von "trifft überhaupt nicht zu" bis "trifft voll und ganz zu". Der gesamte Bewertungsprozess wird ein zweites Mal mit dem jeweils anderen Visualisierungsverfahren wiederholt.

Anhand der Größe der Konfidenzrechtecke zeigt sich, wie einig sich die Testpersonen bei der Beurteilung waren und folglich mit welcher Sicherheit die Beurteilung tatsächlich auf das Produkt zutrifft. Die pragmatische Qualität ist für die Bäume nicht nur stärker, sondern auch einheitlicher⁵³ ausgeprägt. Die hedonische Qualität erhielt im Fall der Bäume zwar ebenfalls höhere Wertungen, die aber weniger eindeutig ausfielen⁵⁴ als für TimeStack.

Beurteilung der Attraktivität

Anhand der im Mittelwertdiagramm (Abb. 65) dargestellten Dimensionen zeigt sich, dass die ästhetische Baumvisualisierung sehr attraktiv auf die Probanden wirkte, während die TimeStack-Darstellung als nicht attraktiv empfunden wurde. Vor allem die Werte für die pragmatische Qualität, Stimulation und Attraktivität der Bäume fallen besonders hoch aus. TimeStack schneidet in allen Qualitäten statistisch signifikant schlechter ab.

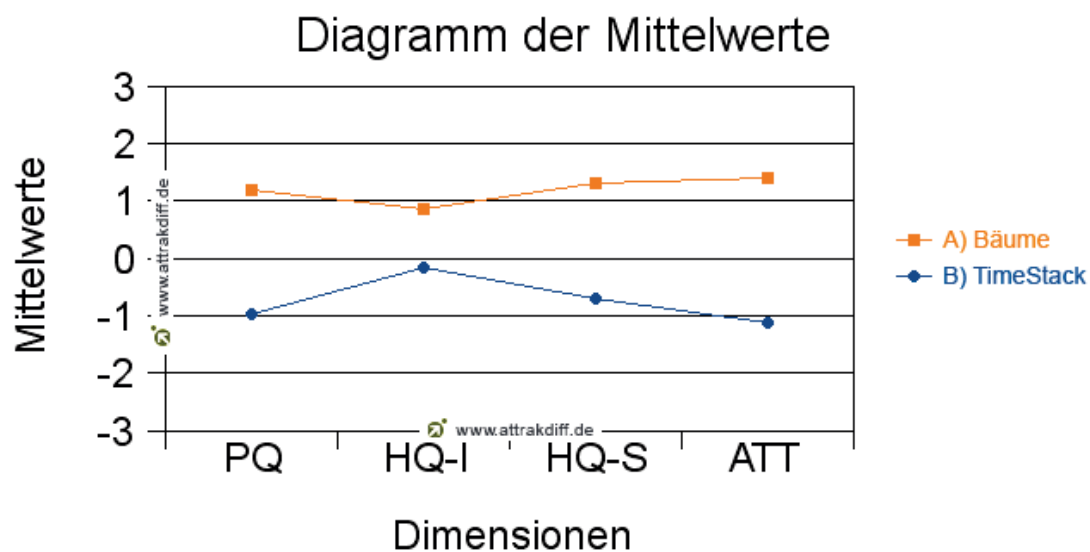


Abb. 65: Das ATTRAKDIFF-Mittelwertdiagramm zeigt hohe PQ, HQ-S und Attraktivitätswerte für die Baumvisualisierung. TimeStack wirkt dagegen nicht attraktiv.

⁵³ Grafisch daran ersichtlich, dass das blaue Rechteck breiter ist als das orange, d.h. die Meinungen sind für Blau (TimeStack) weiter gestreut.

⁵⁴ Grafisch daran ersichtlich, dass das orange Rechteck höher ist als das blaue, d.h. die Meinungen sind für Orange (Bäume) weiter gestreut.

Ergebnis des Wortpaarprofils

Die Mittelwerte der Wortpaar-Bewertung (Abb. 66) zeigen, welche Eigenschaften den beiden Visualisierungsformen zugewiesen wurden. Insgesamt bestätigt sich dabei die These, dass TimeStack eher sachlich-rational und die Bäume eher kreativ-emotional empfunden werden, was sich z.B. darin zeigt, dass die Visualisierungen für das Wortpaar *technisch-menschlich* am weitesten auseinander liegen. Den kleinsten Unterschied bildet das Paar *harmlos-herausfordernd*, bei dem beide Darstellungen nahe der neutralen Mitte eingestuft wurden. Die ästhetischen Bäume zeichnen sich durch Bewertungen wie *originell*, *kreativ* und *motivierend*, aber auch *laienhaft* aus. Beim sachlichen TimeStack treten Begriffe wie *verwirrend* und *phantasielos* aber auch *fachmännisch* und *herausfordernd* hervor.

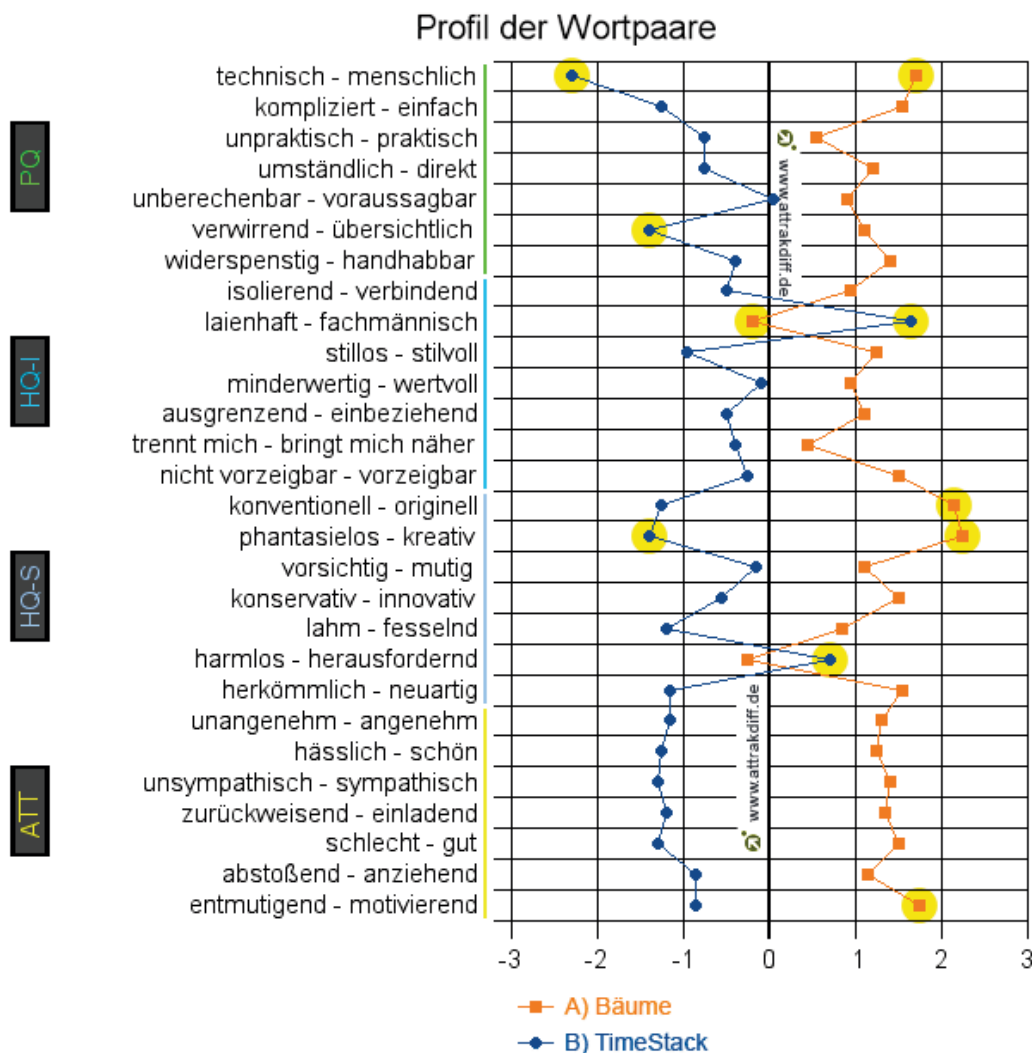


Abb. 66: Mittlere Ausprägung der Wortpaare. Extreme Ausprägungen oder Unterschiede deuten auf problematische oder besonders gelungene Eigenschaften hin.

5.6.4 Ergebnisse der Zusatzbefragung

In der Zusatzbefragung wurden sechs Aussagen gezeigt zu denen die Teilnehmer angeben sollten, wie weit sie diesen zustimmen. Die Aussagen beziehen sich auf die Anwendung der Visualisierung als persuasives Werkzeug zur Erhöhung von Energiebewusstsein und Energieverbrauch. Alle den Aussagen zugrunde liegenden Vermutungen wurden durch die Studie statistisch signifikant bestätigt und daher im Folgenden als Teil der Interpretation beschrieben. Abb. 67 visualisiert die Mittelwerte der erfassten Antworten.

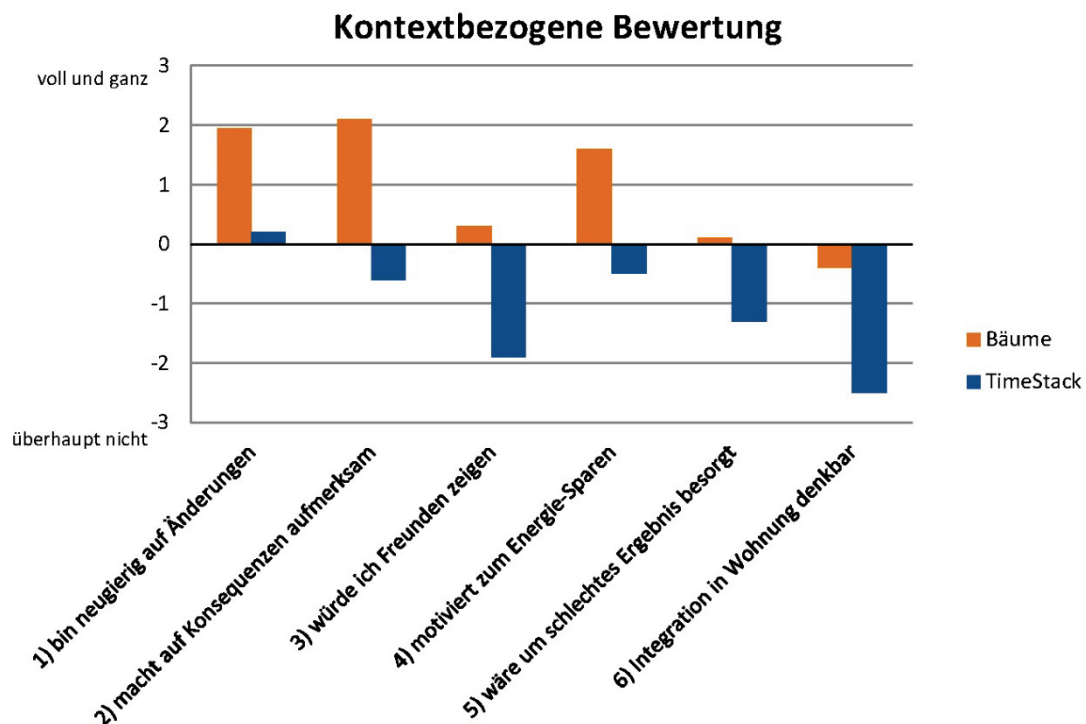


Abb. 67: Ergebnis der Beurteilung der Zusatzfragen, die sich auf die Eignung der Visualisierung als persuasive Energiedatenvisualisierung beziehen. Den Aussagen wurde für die Bäume immer eher zugestimmt als für TimeStack. Dennoch sind die Ausprägungen für die soziale Integration (3), die Immersion (5) und die Alltagsintegration (6) schwächer ausgeprägt als es wünschenswert wäre.

Details zur Bewertung

1. Aussage:

„Ich bin neugierig, wie sich die Visualisierung ändert, wenn sich mein Stromverbrauch ändert.“

Interpretation:

Der ästhetische Ansatz macht neugierig auf mehr, d.h. es entsteht eine intrinsische Motivation sich nachhaltig mit dem System zu beschäftigen. Dass der sachliche Ansatz hier eine schwächere Bewertung erhielt, kann bedeuten, dass zusätzliche Anreize gegeben werden müssen, damit der Anwender das System erneut nutzt, als dies beim ästhetischen Ansatz der Fall ist.

2. Aussage:

„Diese Visualisierung macht mich auf die Konsequenzen meines Energieverbrauchs aufmerksam.“

Interpretation:

Durch die erzählerische Komponente wird ein konkreter inhaltlicher Bezug zur Auswirkung des Energieverbrauchs auf die Natur hergestellt und damit ein konkreter Sinn zum Energiesparen vermittelt.

3. Aussage:

„Ich würde meinen Freunden in sozialen Netzwerken diese Visualisierung meiner Verbrauchsdaten zeigen.“

Interpretation:

Anwender können sich mit der ästhetischen Visualisierung stärker identifizieren als mit der sachlichen. Durch eine solche repräsentative Eigenschaft erhöht sich einerseits das Verantwortungsbewusstsein, weil das Visualisierungsergebnis Einfluss auf die öffentliche Darstellung der eigenen Person nimmt. Zwar ist der Unterschied zwischen den Visualisierungsformen gegeben, doch ist die absolute Ausprägung im besseren Fall (d.h. für die Bäume) relativ niedrig und nahe einer neutralen Einstufung. Für die Wirkungsverstärkung durch soziale Netze ist die Wirkung daher möglicherweise noch zu schwach.

4. Aussage:

„Durch diese Visualisierung wäre ich motiviert, auf meinen Energieverbrauch zu achten.“

Interpretation:

Die Zustimmung zu dieser Aussage kann bedeuten, dass die Visualisierung die Auseinandersetzung mit dem Thema fördert und damit ihre eigentliche Funktion in diesem Anwendungsfall erfüllt. Teilnehmer stimmten dieser Aussage für die ästhetischen Bäume deutlich stärker zu als bei der Bewertung von TimePie.

5. Aussage:

„Ich wäre besorgt, dass mein Energieverbrauch zu schlechten Ergebnissen führt.“

Interpretation:

Die ästhetische Visualisierung bewirkt eine stärkere emotionale Bindung als die sachliche Darstellung, wodurch Bewusstsein und Anreiz für sparsames Verhalten geschaffen werden. Während die Kandidaten dazu tendierten dieser Aussage für TimePie eher nicht zuzustimmen, bewegt sich auch die Bewertung für die Bäume lediglich knapp über dem neutralen Mittel, was auf ein deutliches Verbesserungspotential deutet.

6. Aussage:

„Ich könnte mir vorstellen, diese Grafik z.B. in einem digitalen Bilderrahmen in meiner Wohnung aufzustellen.“

Interpretation:

Die ästhetische Grafik hat prinzipiell dekorativen Charakter, der eine höhere Akzeptanz für die Integration ins alltägliche Lebensumfeld erhöhen könnte. Dadurch würde sich automatisch die bewusste wie auch unbewusste Konfrontation und Auseinandersetzung mit dem System erhöhen, was seine Wirksamkeit potentiell verstärkt. Der angenommene Unterschied zur sachlichen Grafik wurde zwar belegt, jedoch tendieren die Teilnehmer insgesamt eher nicht dazu, eine der Grafiken in ihr Wohnumfeld zu integrieren. Möglicherweise müsste zur Verbesserung dieses Effekts mit Gestaltungsideen experimentiert werden, die explizit auf Wohn-Design ausgerichtet sind.

Freitext-Kommentare

Es wurden sieben Kommentare zur Baumvisualisierung, neun zu TimeStack abgegeben. Alle Kommentare sind im Volltext in Anhang 9.3.3 nachzulesen. Zusammenfassend lassen sich folgende Hauptaussagen feststellen:

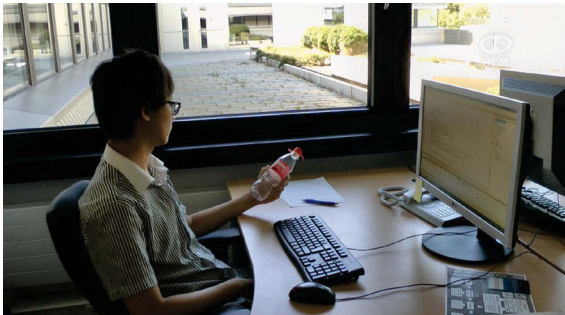
Die ästhetische Visualisierungsform „Bäume“ stieß auf überwiegend positive Beurteilungen. Ein Teilnehmer gab an, sich die schlechten Bäume keinesfalls als Wohnaccessoire vorstellen zu können. Es wurde zudem angemerkt, dass sich die Darstellung eignet, um einen Überblick zu geben, jedoch auch der Wunsch nach Detailinformationen zu den einzelnen Verbrauchern geäußert. Ein Kandidat gab an, ein klassisches Balkendiagramm aufgrund dieser fehlenden Informationen zu bevorzugen.

Die sachliche Visualisierungsform „TimeStack“ erhielt wesentlich kritischere Beurteilungen. Diese beziehen sich überwiegend auf eine zu hohe Informationsdichte oder fehlenden Einblick in das Systemkonzept. Es wurde jedoch auch festgestellt, dass sich diese Visualisierung ggf. besser eignet, um Einblick in die Verbrauchsdetails zu geben. Ein Kandidat schlug vor, TimeStack als weiterführende Detailansicht zu den Bäumen zu ergänzen.

5.7 Storyboard eines Szenarios

Die nachfolgenden Szenentafeln aus (Bühling, 2012) zeigen, wie die Integration der adaptiven Bäume in ein Alltagsszenario aussehen könnte. Die Bäume werden dabei an Sensoren angebunden, die den individuellen Energieverbrauch messen.

Phase 1 – Erste Nutzung des Systems ohne Vorerfahrung



1. Der Mitarbeiter arbeitet an seinem Schreibtisch. Ein Impuls motiviert ihn, diesen zu verlassen.



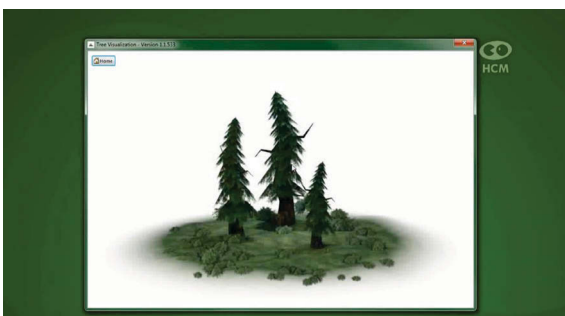
2. Der Mitarbeiter verlässt den Raum, um z.B. zum Getränkeautomat zu gehen.



3. Die Abwesenheit dauert aufgrund spontaner Ereignisse, wie dem Treffen eines Kollegen, länger als erwartet. Die Geräte im Büro sind währenddessen weiter in Betrieb.



4. Der Mitarbeiter kehrt schließlich an seinen Arbeitsplatz zurück.



5. Sein virtueller Garten ist aufgrund der verbrauchten Energie in einem schlechten Gesundheitszustand.



6. Der Mitarbeiter ist von dieser Entwicklung schockiert und wird sich seines verschwenderischen Verhaltens bewusst.

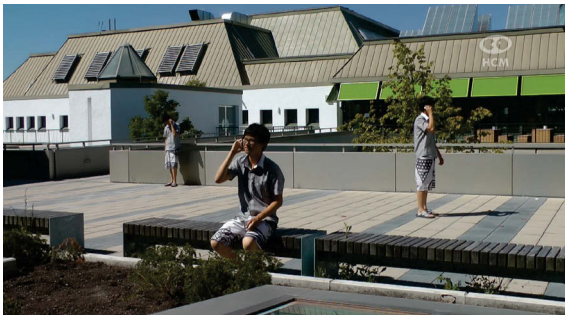
Phase 2 – Wiederholte Nutzung des Systems mit ersten Vorerfahrungen



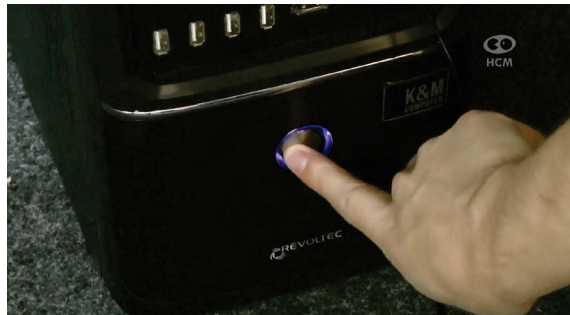
1. Der Mitarbeiter arbeitet an seinem Schreibtisch. Ein Impuls, wie z.B. ein Anruf, motiviert ihn, diesen zu verlassen.



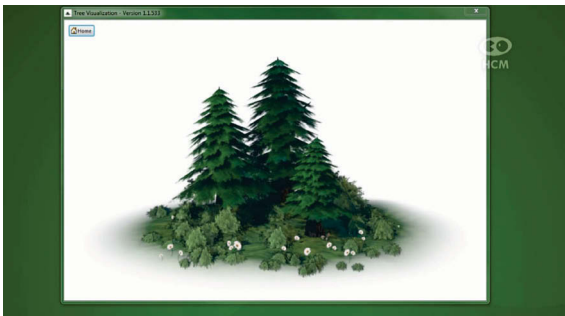
2. Der Mitarbeiter verlässt den Raum, erinnert sich aber aufgrund der Vorerfahrung daran, den Rechner in den Energiesparmodus zu versetzen.



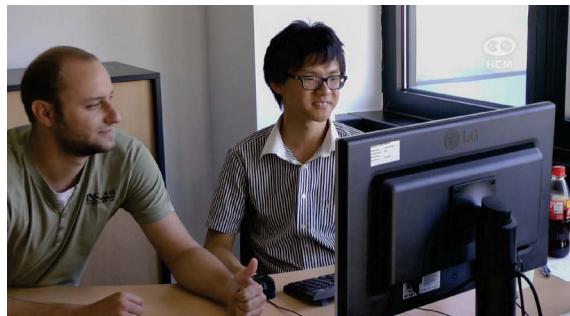
3. Auch bei längerer Abwesenheit wird durch die ausgeschalteten Geräte keine unnötige Energie verbraucht.



4. Der Mitarbeiter kehrt schließlich an seinen Arbeitsplatz zurück und weckt den Rechner aus seinem Ruhezustand auf.



5. Der virtuelle Garten ist aufgrund der Energie-Ersparnis in einem guten Gesundheitszustand.



6. Der Mitarbeiter ist begeistert und erzählt auch Kollegen von seinem Erfolgserlebnis.

5.8 Diskussion, Beobachtungen, Perspektiven

Trotz der umfangreichen theoretischen Grundlage hinter dem Prototyp, wurde bei der Anwendung in den Lehrstuhlbüros sehr schnell klar, dass keine nennenswerten Einsparungen durch das System in dieser Form bewirkt werden können. Die Betrachtung der konkreten Eigenschaften und des Umfelds, in dem das Experiment durchgeführt wurde, vermittelt den Eindruck, dass dies insgesamt vor allem damit zusammenhängt, dass der gewählte Kontext ein sehr geringes Energiesparpotential in mehrerlei Hinsicht bietet.

Reflektiert man beispielsweise die Komponenten des Foggschen Verhaltensmodells (Fogg, 2009), so lassen sich folgende Abweichungen von der idealen Ausprägung feststellen:

- **Motivation:** Zwar war den Teilnehmern Ziel und Hintergrund des Projekts klar und eine grundsätzliche Bereitschaft zum Energiesparen vorhanden. Jedoch ist zu bedenken, dass dem Energiesparen im getesteten Arbeitsumfeld immer eine niedrige Priorität zugewiesen wird. Einerseits sind die Mitarbeiter mit ihren täglichen Aufgaben beschäftigt, die ihre volle Aufmerksamkeit erfordern. Andererseits müssen die Mitarbeiter auch nicht für die entstandenen Stromkosten aufkommen. Der Mangel an persönlicher Identifikation mit öffentlichen Gütern erschwert es generell, den Nutzen von sparsamem Verhalten zu argumentieren, da die tatsächlichen Gewinne überwiegend virtueller Natur sind: eingesparte Kosten nutzen dem Steuerzahler, dem Mitarbeiter also höchstens auf indirekte, unpersönliche Weise. Beim Stromsparen fällt ein einzelner Arbeitsplatz zu wenig ins Gewicht, um alleine maßgeblich zur Schonung der Umwelt beizutragen, was zudem keine sofort sichtbare Auswirkung hat. Infolge spürt der Teilnehmer die positiven Effekte seines Handelns nicht, er kann die Rückmeldungen des Systems bestenfalls *glauben*.
- **Fähigkeit („Ability“):** Da sich Energie im getesteten Arbeitsplatzumfeld im wesentlichen nur durch Ausschalten von für die Arbeit benötigten Geräten einsparen lässt, scheinen die Möglichkeiten begrenzt. Hinsichtlich weiterer Energiequellen, wie zum Beispiel dem Heizen, stellte sich in Rücksprache mit Haus Technikern der Universität zudem heraus, dass diese durch zentrale Schaltsysteme bereits optimiert geregelt werden. Auch bei der Beleuchtung scheint das Haupteinsparpotential in der Wahl der Leuchtmittel zu liegen, was außerhalb des Einflussbereichs der einzelnen Mitarbeiter liegt. Dieser hat also situations-

bedingt überhaupt nur relativ geringe Möglichkeiten Energie zu sparen, ohne die eigentliche Arbeit zu verändern.

- **Auslöser („Trigger“):** Während sich die Erinnerung mit einem stündlich auftauchenden Erinnerungsfenster im Arbeitsablauf als zu intrusiv zeigte, scheint die Integration der visuellen Rückmeldung in Form eines Bildschirmschoners den besten Kompromiss zwischen dichter Integration und Unterbrechungsfreiheit darzustellen. Die adaptive Visualisierung kann in der eingesetzten Form nur eine Rückmeldung über die aktuelle Verbrauchsbilanz liefern. Um eine Verhaltensänderung zu bewirken, ist es wichtig, weitere Informationen zu integrieren, wie zum Beispiel konkrete Verhaltensempfehlungen. Hierfür liegt die Erweiterung um ein Empfehlungssystem („Recommender System“) nahe. Diese ließe sich wiederum in visueller Form aufarbeiten, wofür die in Kapitel 4 beschriebene erzählerische Dimension ästhetisch motivierter Grafik prädestiniert scheint.

Weitere Beobachtungen machen deutlich, dass die Wirkungsweise von visueller Gestaltung nicht nur von der Grafik selbst, sondern wesentlich auch von den Umgebungsbedingungen abhängen. So wenig wie ein als Clown kostümierter Nachrichtensprecher über die Tragik einer Unglücksmeldung hinweg täuschen könnte, lassen sich Mängel an anderer Stelle im Systemaufbau nicht einfach durch eine gute Grafik ausgleichen.

Statische Szenarios führen zu statischen Rückmeldungen. Es wurde bereits festgestellt, dass das Arbeitsplatzbeispiel durch seine feste formale Struktur sehr statisch ist. Jede Woche verläuft nach einem ähnlichen Zeitmuster bei dem täglich um die neun Stunden gearbeitet wird. Infolge dieses festen Musters wiederholt sich auch die Energiebilanz und deren Visualisierung. So verwelken die virtuellen Bäume jeden Montag, da die Stromeinsparungen des arbeitsfreien Wochenendes dazu führen, dass der Verbrauch des ersten Arbeitstages eine Verschlechterung der Konsumstatistik zur Folge hat. Obwohl der Arbeiter an sich nichts falsch gemacht hat, hat er keine Chance diese Verschlechterung zu vermeiden. **Lösungsansatz:** Bei Konzeption des Systems kann eine präzise Analyse wiederkehrender Prozesse und Rituale im Testumfeld dabei helfen, ein Auswertungsprofil zu konstruieren, das zum Beispiel reguläre Ausfallzeiten berücksichtigt. Statt den Verbrauch der letzten X Tage zu berücksichtigen, könnten Freizeiten aus der Datenauswertung herausgefiltert werden, um effektive Vergleiche mit echter Aussagekraft anstellen zu können.

Negative Formulierungen wirken nicht motivierend. Den eigenen virtuellen Garten in einem gammeligem Zustand zu sehen, wird die Stimmung der Mitarbeiter an ohnehin unbeliebten Montagen vermutlich nicht gerade verbessern. Und auch allgemein tendiert der Prototyp des virtuellen Gartens dazu, *Verschlechterungen* wahrnehmbar zu machen. **Lösungsansatz:** Positive Signale eignen sich zur Motivation prinzipiell besser als negative. Der Neurobiologe Gerald Hüther sagt, dass es für effiziente, nachhaltige Motivation wichtig ist, eine *Begeisterung* für die Ziele zu wecken, anstatt nur zu belohnen oder gar zu bestrafen (managerSeminare, 2011; Hüther, 2014). Statt Verschlechterungen zu zeigen, sollten also auch im Fall des Energie-Feedbacks Erfolgserlebnisse gefördert und dadurch für das Thema begeistert werden. Dies ist allerdings mit der vorgestellten Abbildung von Messergebnissen auf die visuelle Werteskala alleine kaum möglich, zumal diese erstens Schwankungen in beide Richtungen bewusst vorsieht und zweitens eine Wertobergrenze besteht. Es können stetige Verbesserungen also nicht unbegrenzt gezeigt werden, sondern nur so lange bis die positivste Transformationsstufe erreicht ist. Diese Grenze lässt sich jedoch zugunsten eines größeren Ausdrucksspektrums verschieben, in dem z.B. mehrere adaptive Grafiken zum Einsatz kommen, die (teil-)unabhängig voneinander agieren. Durch mehrere adaptive Objekte in einer komplexen virtuellen Szene können feinere Abstufungen von Visualisierungsänderungen realisiert werden. Eine Weiterführung kann auch durch Einbringen von spielerischen Elementen stattfinden, was weitere Belohnungssysteme ermöglicht, etwa in Form von virtuellen Gewinnen (siehe auch Kapitel 5.9.3).

Verhaltensbewertungen sind immer relativ, teils sogar subjektiv. Wie definiert sich überhaupt ein „umweltfreundliches Verhalten“ unter Berücksichtigung realer Bedingungen und Parameter? Es lässt sich nicht einfach behaupten, dass „ein möglichst geringer Energiebedarf“ das beste Verhalten ist, zumal der Einsatz von elektronischen Geräten in Büro (und auch Haushalt) heute kaum zu vermeiden ist. Würden alle Geräte ausgeschaltet, so würde zwar die maximale Ersparnis erreicht, doch ist keine reale Arbeitssituation mehr gegeben. Das gleiche gilt für Abwesenheiten, z.B. durch Krankheit und Urlaub, die energiebezogen als *besonders gutes Verhalten* wirken. Tatsächlich müssten sie als Sonderfall gelten und entsprechend in die Bewertung einfließen. **Lösungsansatz:** Der vorgestellte Prototyp tastet sich an durch die Individuen-bezogene Skala und relative Verbrauchseinstufung an persönliche Relationen an. Zudem werden alle Null-Werte ignoriert (kein Verbrauch gilt nicht als optimale Einsparung während der Arbeitszeit) und Messreihen nicht zeitlich, sondern seriell ausgewertet. Für eine ideale Aussagekraft müssten aber weitere personenbezogene Verhaltensmuster be-

rücksichtigt werden, wie zum Beispiel individuelle Arbeitszeiten und reguläre Unterbrechungen.

Motivation und Ziel sind personenabhängig. Wie oben beschrieben, ist es wichtig, ein Interesse beim Anwender zu wecken, selbst aktiv Energie sparen zu wollen. Allgemein formulierte Ziele haben möglicherweise aber eine schwache Wirkung, da sie nur mit Ideen übereinstimmen, denen die Person rational zustimmt, für die aber keine echte Begeisterung herrscht. So ist davon auszugehen, dass aufgrund der heute vorherrschenden öffentlichen Meinungen, viele Teilnehmer dem Ziel „Umweltschutz“ allgemein zustimmen. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass die persönliche Identifikation jedes einzelnen so hoch ist, dass der innere Wunsch nach aktiver Beteiligung entsteht. **Lösungsansatz:** Die größte Motivation ist dann zu erwarten, wenn Anreize unter Berücksichtigung der individuellen Ziele und Interessen des einzelnen Teilnehmers definiert werden. So äußerte ein Teilnehmer des Büro-Szenarios, dass er keinen echten Nutzen sieht, den seine Verhaltensänderung auslösen würde. Vielmehr brächte ihm im – ganz im Gegenteil – z.B. der 24-Stunden-Dauerbetrieb seines Arbeitsplatzrechners den Vorteil, dass er auch von zu Hause aus jederzeit per *REMOTE DESKTOP*-Verbindung auf das Gerät und die dort gelagerten Dateien und Programme zugreifen kann. Dieses energieintensive Verhalten bietet ihm in diesem Fall also einen größeren Mehrwert als das Energiesparen, das er eher als abstrakt-ideellen Gewinn empfindet. Er sagte weiterhin, dass er sich verstärkt für den Abbau von Atomkraftwerken interessiere. Zwar ist das zunächst auch ein virtuelles Ziel, das aber immerhin mit dem persönlichen Interesse übereinstimmt und sich daher zur Motivation eignet. Für ein spielerisches Energiesparszenario am Arbeitsplatz würde der Kandidat übrigens sogar eine direkte Belohnung für seine Verhaltensänderung erwarten oder zumindest als für die Motivation essentiell einschätzen. Wie diese konkret aussehen soll, z.B. als Freizeitbonus oder Sonderzahlung, konnte nicht abschließend geklärt werden.

5.9 Nutzung von Kollaborations- und Wettbewerbseffekten

Zur Steigerung der Wirksamkeit des Systems kommt neben der schon genannten Einbindung von konkreten Handlungsempfehlungen (Recommender Systeme) auch die Nutzung von Spielifizierungsmechanismen in Frage. Indem die Visualisierung beispielsweise nicht mehr nur isoliert auf dem eigenen Rechner stattfindet, sondern durch Publikation auf öffentlichen Monitoren oder in sozialen Netzwerken in Wettbewerb zu anderen Teilnehmern gestellt wird, lässt sich ein Anreiz generieren, der auf der öffentlichen Repräsentation des Spielers durch die Grafik beruht. Die folgenden Abschnitte beschäftigen sich mit Perspektiven zur derartigen Integrationen von sozialen Effekten und Spielkonzepten.

5.9.1 Theoretischer Hintergrund

Der Einsatz von adaptiver Grafik erfordert im Bereich der Energiedatenvisualisierung aufgrund der beschriebenen Probleme weitere Hilfsmittel, um eine Immersion zu erreichen, die das Nutzerverhalten in relevanten Maße beeinflusst. Hierfür eignet sich zum Beispiel die Anbindung an soziale Netzwerke, was einerseits zu einer größeren Identifikation mit dem Produkt, andererseits auch zu höheren Wettbewerbsfaktoren führt. Der Artikel von S. Simon im *WALLSTREET JOURNAL* stellt die Rolle sozialer Effekte sogar als *das* essentielle Mittel dar, wenn es um die Frage geht, wie Menschen zu umweltfreundlichem Verhalten gebracht werden können:

“It isn't financial incentives. It isn't more information. It's guilt. [...] Studies dating back [...] show the power of social norms. [...] But at its core, our behavior often boils down to that old mantra: Monkey see, monkey do.” (Simon, 2010)

Demnach lässt sich der Anwender nicht von mehr Geld oder Information überzeugen, sondern durch Schuldgefühle, die durch das soziale Umfeld entstehen. Gegenseitige Vergleiche, die Selbstpräsentation und auch Gruppendynamiken hätten dieser Theorie zufolge eine sehr starke Überzeugungs- und Antriebskraft.

Pragmatisch gesehen bringt die Nutzung von sozialen Netzwerken den Vorteil einer nahtlosen Alltagsintegration, wie Mankoff et al bei der Integration einer Anzeige für Energieverbrauchsdaten in *MYSpace*-Profile feststellen. Webseiten, die der Anwender ohnehin und aus eigenem Interesse heraus sehr häufig besucht, können dazu verwen-

det werden, Informationen entsprechend häufig anzuzeigen und so im Bewusstsein des Nutzers zu halten (Mankoff, et al., 2007). Ähnliches untersuchten Foster et al mit der Visualisierung von Energiedaten auf *FACEBOOK* und konnten dabei beobachten, dass die Möglichkeit eigene Daten mit denen der Netzwerkkontakte zu vergleichen zu einem signifikanten Einsparverhalten führte (Foster, et al., 2010).

Auch der Einsatz von spielerischen Konzepten wird immer wieder als Lösungsansatz für das Schaffen von Anreizen zur Auseinandersetzung mit dem Produkt in Erwägung gezogen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass das Spiel nicht zu einem Edutainment-Produkt wird, d.h. einer nur leicht veränderten Lernanwendung. Farber vergleicht diesen Effekt sehr treffend mit dem Begriff „chocolate-covered broccoli“, der nicht funktionieren kann, weil das bloße Verpacken in einen attraktiven Mantel alleine nicht dafür sorgt, dass Lernen plötzlich Spaß macht. Eine einfache Lösung zur Vermeidung dieses Problems sieht er im Einbeziehen der Zielgruppe in den Entwicklungsprozess, so dass ersichtlich wird, welche Komponenten sich als (kontra)produktiv erweisen. (Farber, 2014)

Einige Arbeiten, die Spiele zum Thema „Energiesparen“ untersuchen, zeigen, dass *Gamification* grundsätzlich ein Potential als Persuasionsverfahren hat. Der „Power Explorer“ von Gustafsson et al berücksichtigte zum Beispiel verschiedene Parameter und Modi, wie z.B. Wettbewerbe oder virtuelle Haustiere. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass sich durch die persuasiven Einflüsse das Energiesparverhalten der Teilnehmer langfristig positiv beeinflussen lässt. Als wichtigste Erfolgsfaktoren für das Erwirken von Langzeiteffekten durch persuasive Spiele nennen die Autoren, dass es dem Spieler möglich sein muss, mit wenig Aufwand schnell und häufig Belohnungen zu erhalten. (Gustafsson, et al., 2009) Auch Gamberini et al kommen in ihrer Arbeit über ein persuasives Energiespiel zu einem ähnlichen Schluss. Spiele mit ernsthaftem Hintergrund („Serious Games“) sollten demnach so klar und einfach wie möglich gehalten werden. (Gamberini, et al., 2011)

5.9.2 Adaptive Formensprache als Spielelement

Eine erste Exploration der spielerischen Einsatzmöglichkeiten des adaptiven Natur-szenarios fand sich in Form eines interaktiven Aktionspunktes für den „Mädchen-Zukunftstag 2012“⁵⁵. Die Mädchen im Alter von 12-14 Jahren hatten Gelegenheit bei einer interaktiven Schatzsuche mehr über Projektarbeiten im Informatikbereich kennen zu lernen. Die Inhalte dieses Spiels waren zudem rund um das Thema Umweltschutz und Energiesparen angesiedelt und sowohl durch eine *Augmented Reality*-Anwendung als auch durch die Visualisierung des Spielfortschritts in Form adaptiver Grafik realisiert.

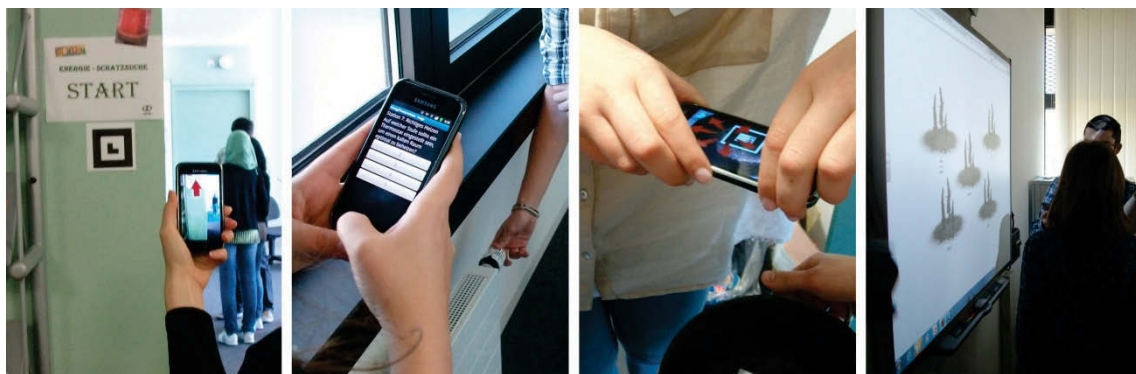


Abb. 68: Ablauf der Schatzsuche am „Girls'Day 2012“. Mittels Smartphone werden zunächst verschlüsselte Wegweiser sichtbar gemacht (Bild 1), die zu Aktionspunkten führen. An diesen werden wiederum Fragen zum Thema Umweltschutz in einem Quiz abgefragt (Bild 2) und mittels *Augmented Reality* (Bild 3) veranschaulicht. Adaptive Grafiken reflektieren den gegenwärtigen Spielstand jederzeit auf öffentlichen Monitoren (Bild 4).

Aufbau: Der Projektaufbau folgt zunächst dem klassischen Spielprinzip einer Schatzsuche, bei der im Aktionsraum⁵⁶ verteilten Hinweisen gefolgt, Rätsel gelöst und schließlich ein Zielpunkt – der Schatz – erreicht werden soll. Als zeitgemäße Weiterentwicklung kamen am „Girls'Day“ Smartphones zum Einsatz, auf denen eine am Lehrstuhl entwickelte Software Navigationshinweise anzeigt und Interaktion an Aktionspunkten ermöglicht.

Spielablauf: In Gruppen von zwei bis drei Personen laufen die Teilnehmerinnen mit einem zur Verfügung gestellten Mobiltelefon durch das Gebäude und verwenden dabei die Kamerafunktion des Geräts, um Wegweiser sichtbar zu machen, die in an den Wänden angebrachten Codes verschlüsselt sind (Abb. 68 links). Hierfür wird

⁵⁵ <http://www.girls-day.de>

⁵⁶ Die Durchführung fand in verschiedenen Abschnitten des Informatik-Gebäudes an der Universität Augsburg statt.

Augmented Reality eingesetzt, d.h. die Überlagerung eines realen Kamerabildes mit virtuellen Elementen, wobei Räumlichkeit und Blickfeld der realen und virtuellen Welt aneinander angeglichen werden. Dadurch entsteht der Eindruck, dass beide Welten miteinander verschmelzen und sich das virtuelle Objekt in der realen Umgebung befindet (Metzger, 1993; Milgram, et al., 1995). Die sichtbar gemachten Wegweiser führen zu den eigentlichen Aktionspunkten, wo die Teilnehmerinnen eine Frage im Mehrfachauswahlverfahren auf dem Mobilgerät beantworten sollen. Die Frage richtet sich inhaltlich an energierelevanten Themen aus, die einen Bezug zum Aktionsort haben. *Augmented Reality*-Visualisierungen werden wiederum eingesetzt, um unsichtbare Effekte zu erklären. So wird beispielsweise bei einer Frage nach der energieeffizientesten Methode des Wasserkochens gezeigt, wie sich Energie im Kochtopf verhält, wenn dieser offen oder geschlossen erhitzt wird (Abb. 69).

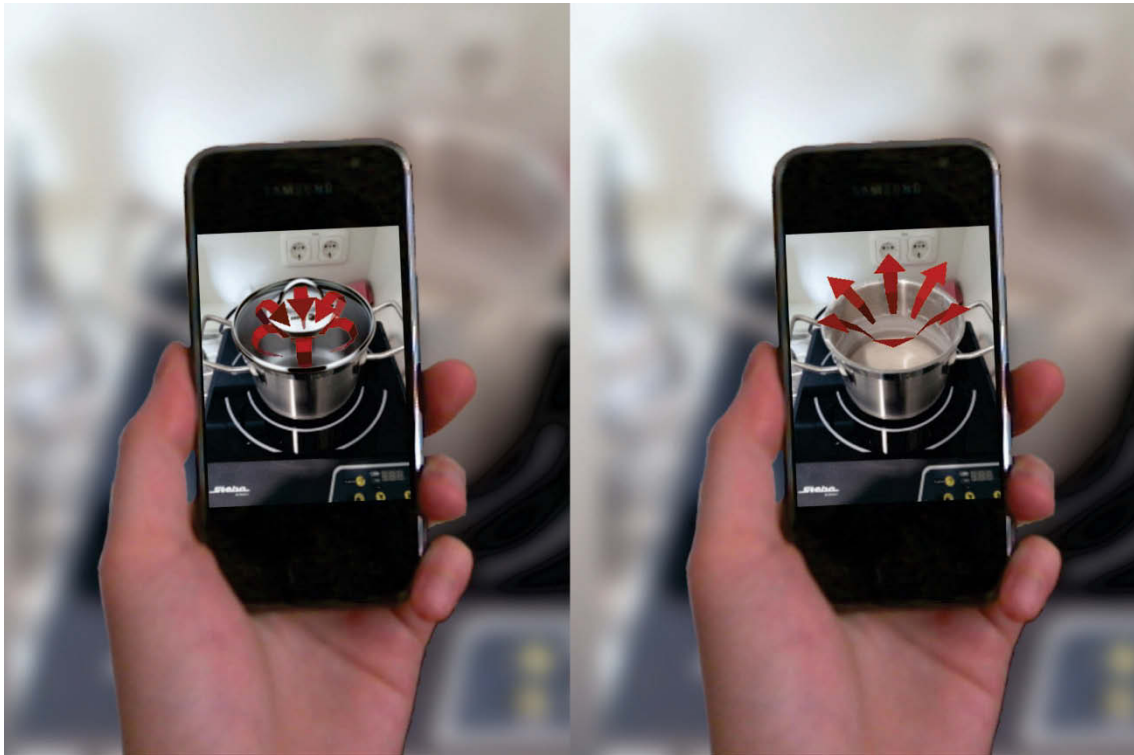


Abb. 69: Mittels *Augmented Reality* wird ein 3D-Modell auf das Kamerabild eines Kochtopfs überlagert und so Energieverhalten sichtbar gemacht. Links: mit geschlossenem Deckel bleibt Energie im Topf und wird somit zur Erwärmung genutzt. Rechts: Ohne Deckel entweicht Energie und geht verloren.

Adaptive Grafik als Wettbewerbsfaktor: Jede Spielgruppe verfügt über ein Spielkonto, dem sie durch richtige Beantwortung der Aktionsfragen Punkte hinzufügen kann. Die mobile Anwendung überträgt dazu die erspielten Punkte über das Drahtlosnetzwerk an einen Server, der alle Spielstände verwaltet. Bei Spielbeginn wird allen Teilnehmern das Konzept der adaptiven Natur vorgestellt: jede Gruppe hat die Verantwortung über die Gesundheit eines virtuellen Gartens. Durch Abbildung des Punktestands auf das Werterepertoire, verbessert sich der visuelle Gesundheitszustand des Gartens mit jedem erreichten Punkt. Die Gruppe mit dem höchsten Punktestand kann am Ende also den vitalsten Garten vorweisen. Um die Motivation durch Wettbewerb zu steigern, sind die Gärten aller Gruppen auf einem gemeinsamen Monitor zu sehen, wodurch eine direkte Vergleichbarkeit gegeben ist. Die stufenlose dynamische Visualisierung hilft Spannung aufzubauen und die Unterhaltung zu erhöhen. Statt ein sofortiges Endergebnis in Form einer Zahl abzulesen, können die Spielerinnen beobachten, wie der Garten mit jeder richtigen Antwort wächst und mitfiebern wie weit ihr Garten durch die erspielten Punkte weiter wachsen wird.

Erste Eindrücke

Dem Spiel liegt die These zugrunde, dass durch die Verantwortung für die Gesundheit des virtuellen Waldstücks, die unter direktem Einfluss der Spielleistung stehen, die Spieler stärker motiviert, involviert und engagiert werden, als dies mit einer klassischen textuellen Darstellung der Fall wäre. Die Reaktionen während des Spielverlaufs wie auch explizite Rückmeldungen bei einer Befragung im Nachhinein sprechen für diese Theorie. Die adaptiven virtuellen Pflanzen fanden großen Anklang bei den Teilnehmerinnen und weckten ihr Interesse am Spiel. Ebenso wirkten sich die interaktiven Visualisierungen mittels *Augmented Reality* förderlich auf die Begeisterung der Testgruppe aus.

Ein erhöhtes Interesse am Spiel bewirkt indirekt auch eine verstärkte Beschäftigung mit dem Thema „Umweltschutz und Energiesparen“. Weiterentwicklungen könnten daher auch im Sinne softwaregestützter Ausbildungswerkzeuge und die Verbesserung von Lerneffekten durch die Unterstützung von adaptiven Visualisierungen zu finden sein.

5.9.3 Migration in soziale Netzwerke und Spielifizierung

Das zuvor beschriebene Spielszenario des „GirlsDay“ stellt eine erste einfache Form von Datenvisualisierung dar. Die von den Teams erspielten Punkte wurden anhand der möglichen Höchstpunktzahl in einen Prozentwert umgewandelt, der sich wiederum auf den Werteraum der adaptiven Grafik abbilden lässt. Die adaptiven Bäume ließen sich im Weiteren auf verschiedene Art mit den Konzepten sozialer Netzwerke oder der Spielifizierung verbinden, um deren unterschiedliche Auswirkungen und Gewinne zu summieren und zur Steigerung der Persuasionseffekte einzusetzen. Ähnlich wie im Fall des Girls’Day-Szenarios, könnten die adaptiven Gärten nicht mehr nur auf einen privaten Arbeitsplatz beschränkt, sondern öffentlich gegenüber gestellt werden (Abb. 70). Die den öffentlichen Raum immer weiter durchdringenden Informationsbildschirme eignen sich nicht nur für Werbung, sondern z.B. auch zur Darstellung interaktiver personalisierter Daten. Dabei muss jedoch die grundsätzliche Frage diskutiert werden, ob die einzelnen Datenpakete (d.h. Gärten) identifizierbar oder anonymisiert gekennzeichnet werden.

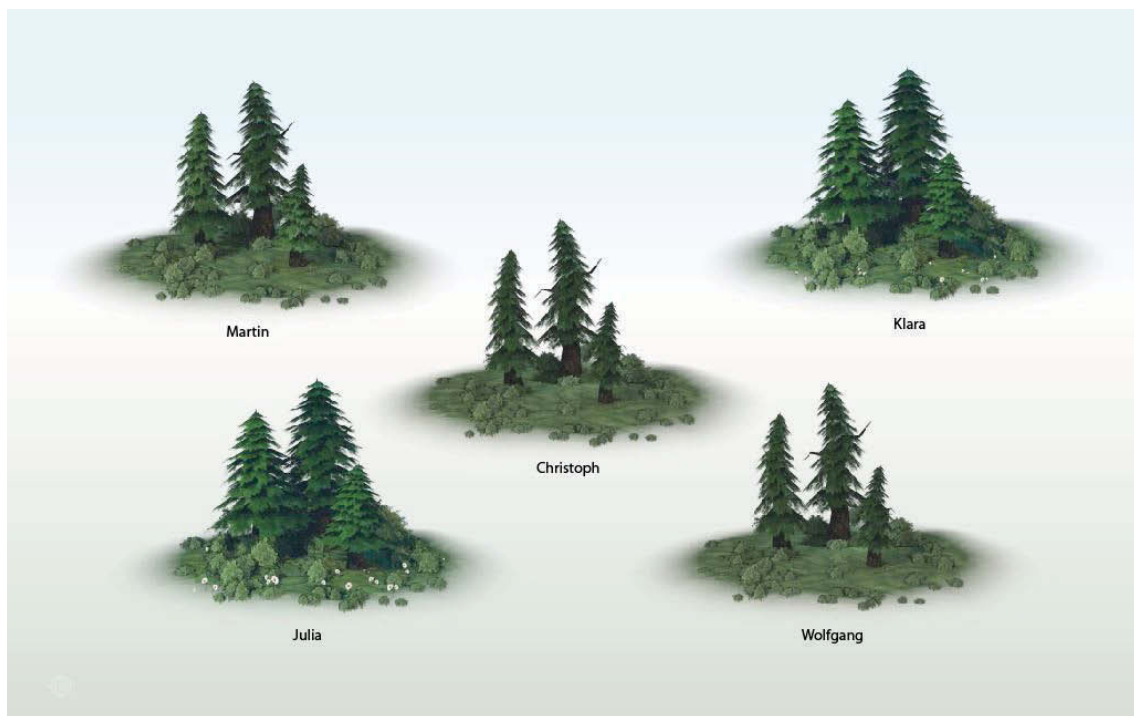


Abb. 70: Beispiel für die Schaffung einer Wettbewerbssituation für die adaptiven Gärten. Die den individuellen Verbrauch reflektierenden Grafiken einzelner Spieler werden öffentlich einsehbar gegenüber gestellt, etwa auf einem Informationsmonitor.

Bilden die virtuellen Bäume nicht mehr nur einen Gesamtverbrauch ab, sondern werden mehrere adaptive Pflanzendarstellungen eingesetzt, so lässt sich die Detailinformation erhöhen. Der Anwender könnte dann zum Beispiel den Verbrauch einzelner, jeweils separat visualisierter Geräte besser beurteilen und entsprechend reagieren. Dieser Ansatz führt schnell zur Vorstellung eines virtuellen Garteneditors, mittels dessen Anwender verschiedene adaptive Pflanzen selbst zu einem Gesamtbild komponieren können, ähnlich populärer Spiele wie etwa *FARMVILLE*. Das *FACEBOOK*-Spiel erfreute sich um 2012 enormer Beliebtheit und nutzte kollaborative Mechaniken, etwa das Erspielen neuer Gegenstände mit Hilfe von befreundeten Spielern, ebenso wie kompetitive Elemente, etwa durch das öffentliche Zurschaustellen der aufgebauten virtuellen Farm innerhalb des sozialen Netzwerks. Abb. 71 skizziert einen Entwurf für ein solches Gartenszenario mittels adaptiver Energiedatenvisualisierung, bei der sich die verfügbaren Gestaltungselemente aus den erfassten Geräten ergeben. Zwar kann der Spieler seine Landschaft selbst gestalten, doch wird das Aussehen der einzelnen Objekte im Detail durch die Energieverbrauchsbilanzen gesteuert. Die Integration sozialer Effekte kann nicht nur in Form der Publikation des aktuellen Gartenzustands, etwa in Form eines Eintrags in der Neuigkeiten-Liste des Freundeskreises erfolgen, sondern auch auf explizite Interaktion erweitert werden. Stirbt eine virtuelle Pflanze aufgrund zu hoher Verbrauchsdaten, so kann die Gemeinschaft durch Spende ihrerseits verdienter Energiesparpunkte belebend auf das Gewächs einwirken. Hierbei wird einerseits das Gemeinschaftsgefühl durch Zusammenarbeit gesteigert, andererseits der psychologische Druck auf den schlechten Verbraucher erhöht, da sein hoher Verbrauch auf Kosten der Gemeinschaft geht. Wie bereits erwähnt, ist bei der Konzeption aber darauf zu achten, die Spielmechanik nicht zu stark auf negative Botschaften zu stützen, sondern statt dessen Erfolgserlebnisse zu fördern. Dies lässt sich z.B. durch das Konzept von Erfolgen (Achievements) unterstützen. Dabei erhält der Spieler Zielvorgaben, wie etwa das Erreichen eines bestimmten Einsparvolumens. Durch das Erfüllen dieser Aufgaben lassen sich zusätzliche Funktionen freischalten oder virtuelle Güter gewinnen. Abb. 72 zeigt die als technische Machbarkeitsstudie implementierte Veröffentlichung erspielter Erfolge des Energie-Clients auf *FACEBOOK*.

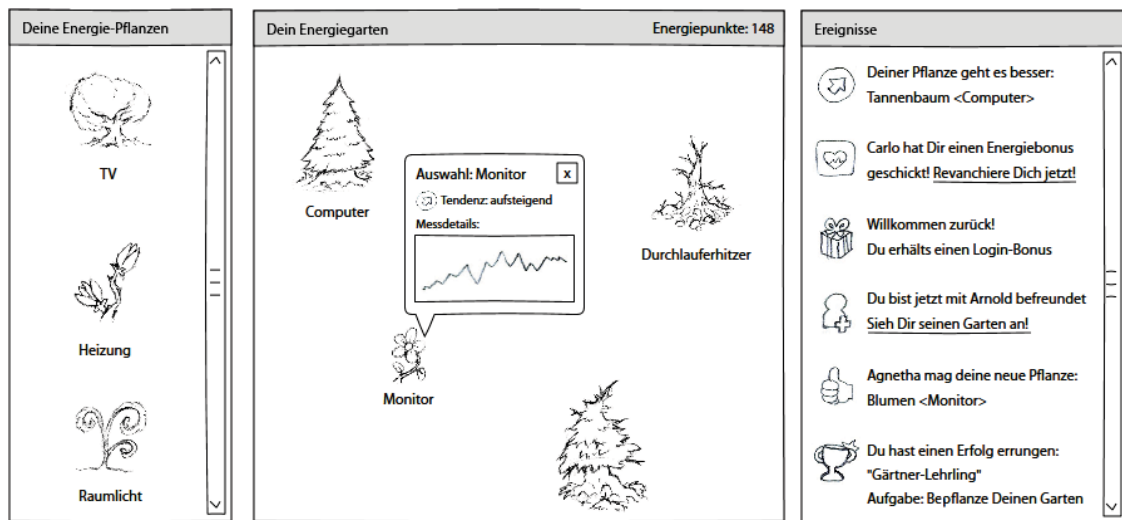


Abb. 71: Ansatz für die Konzeption der adaptiven Grafik als Spiel in sozialen Netzwerken. Dem Spieler stehen aufgrund der an das System angeschlossenen Verbrauchsgeräte unterschiedliche Objekte zur Gestaltung eines persönlichen Gartens zur Verfügung (Liste links). Die individuelle grafische Erscheinung ergibt sich dabei durch den zugrundeliegenden Energieverbrauch der jeweils visualisierten Geräte (mittleres Fenster). Durch die Anbindung an soziale Netze lassen sich soziale Effekte nutzen, um die Motivation zu erhöhen. Spielerübergreifende Aktivitäten können dabei in Form von Spielinhalten auftreten (Liste rechts).

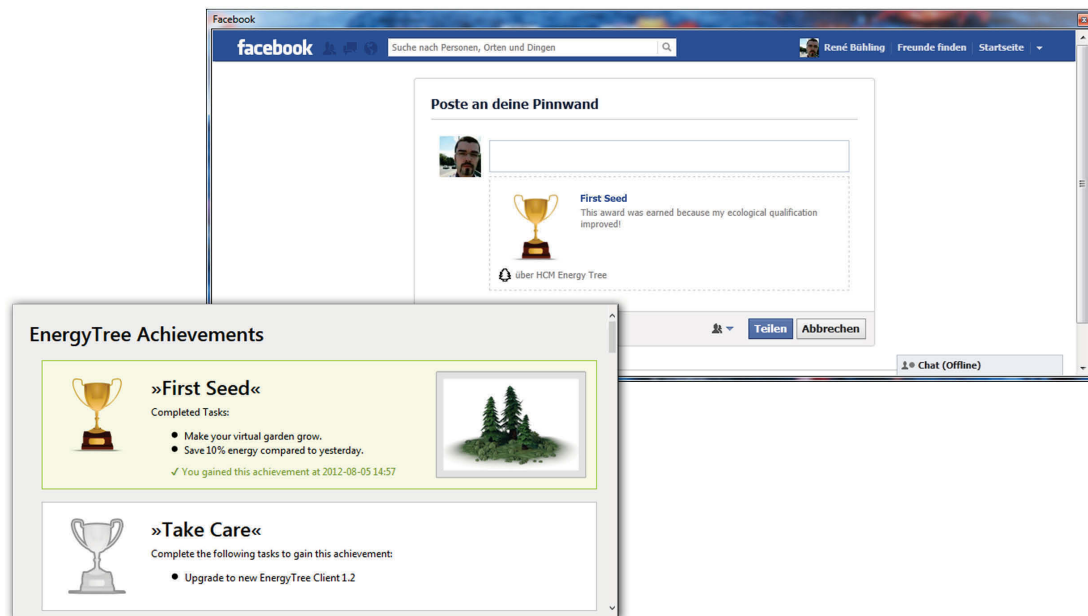


Abb. 72: Technischer Test zur Ansteuerung der Facebook-Schnittstellen aus dem C#-Client heraus, um erspielte Errungenschaften im sozialen Netzwerk zu publizieren. Über einen eingebetteten Browser kann eine grafische Präsentation des Spielkontos auf dem Webserver (links vorne) ebenso nahtlos in die Client-Software eingebunden werden, wie die Veröffentlichungsfunktionen sozialer Netzwerke (rechts hinten).

Konkrete Spielinhalte und -funktionen lassen sich in mehrere Unterkomponenten gliedern, die verschiedene Stufen im persuasiven Prozess widerspiegeln. Es ist vorstellbar, diese Stufen auch als Spielebenen für den Spieler offen zu legen, zumal sie auch zeigen, wie sich Schwierigkeitsstufen und erforderlicher Aufwand unterscheiden.

Persuasive Wirkungsstufen, die sich als Spielinhalte realisieren lassen, sind z.B.:

- **Bewusstseinsänderung (Awareness):** Ein erster Schritt der Überzeugungsarbeit ist, dem Anwender die Problematik überhaupt ins Bewusstsein zu rufen. Für den virtuellen Garten zeigt sich das auch in der Frage, wie stark sich der Spieler um seinen Garten kümmert. Messbare Spielereignisse umfassen dabei zum Beispiel die Häufigkeit des Spielens, Art und Menge der durchgeführten Aktivitäten oder auch der Konsum von zuvor erspielten Punkten in Form von virtuellen Investitionen.
- **Verhaltensänderung (Behaviour):** In Folge der Bewusstwerdung verändert der Spieler idealerweise sein Verhalten hin zu den beabsichtigten Zielen. Damit sich die Gesundheit der virtuellen Pflanzen erhöht, ist es zum Beispiel erforderlich energiesparend zu agieren und Verbrauchsgeräte sorgfältig zu betreiben. Im Spiel geht es dabei um das Erspielen der eigentlichen Energiesparpunkte, was durch Bewertung der auf der Verbrauchshistorie beruhenden Energietendenzen, direkten Messdaten und dem Abgleich verschiedener Kontextinformationen möglich ist.
- **Netzwerkintegration (Social):** Indem ein Spielergebnis im sozialen Netzwerk veröffentlicht, diskutiert und sogar mit- oder gegeneinander gespielt wird, vergrößern sich Bedeutung und Einprägung der durch das Spiel transportierten Thematik. Spielaktionen in Gelegenheitsspielen in sozialen Netzwerken enthalten häufig Aktionen wie z.B. das Einladen weiterer Teilnehmer, das Besuchen und Bewerten der Gärten anderer Spieler, die Reaktivierung (Motivation) inaktiver Spieler oder gegenseitige Hilfestellungen, etwa durch virtuelle Geschenke.
- **Nachhaltigkeit (Sustainability):** Eines der schwierigsten Ziele persuasiver Technologien ist sicherlich das Bewirken von langfristigen Änderungen, die auch dann noch anhalten, wenn der Reiz des Neuen verflogen ist. Da bei gleichbleibender Geräteausstattung die Energieersparnis nicht unendlich gesteigert werden kann, müssen Wege gefunden werden, auch bei optimalem

Energieverhalten langfristige Spielanreize zu schaffen. Ein Ansatz kann dabei sein, die Konstanz der Ersparnis über einen Zeitraum hinweg zu beobachten und intervallartig Spielboni zu gewähren, solange sich der Energiebedarf nicht verschlechtert. Auch durch das Erreichen von Spielzielen in den anderen Wirkungsstufen können zusätzliche Anreize und Fortschritte realisiert werden.

Vermarktung und Erfolgsaussichten

Man kann nicht davon ausgehen, dass das was bei Spielen wie *FARMVILLE* funktioniert, automatisch auch für den „Energie-Garten“ funktionieren würde. Die genauen Erfolgsfaktoren müssen genau ermittelt und umgesetzt werden. Vor allem in heutiger Zeit, in der jedermann Spiele entwickeln und online vermarkten kann, zeigen unzählige Beispiele erfolgloser Klone, dass der Erfolg des Originals oft an Details oder auch einfach nicht replizierbaren Umständen⁵⁷ liegt. Wenn Spielerfolge des Energiedatenspiels im Netzwerk veröffentlicht werden, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass sich die Leser dafür überhaupt interessieren. Auch hinsichtlich der technischen Praxis ergeben sich einige Hürden, wie zum Beispiel generelle Fragen der Datensicherheit und etwa der Betrugsprävention. Um einen direkten Wettbewerb zu realisieren, müssten große Anwender-Gruppen die gleichen Teilnahmemöglichkeiten haben, d.h. in diesem Beispiel auch die gleichen Geräteausstattungen. Als Lösungsansatz wurde bereits die Relativierung von Messergebnissen angesprochen. Dieser löst aber nicht das Problem, dass Energie durch *Nicht-Gebrauch* technischer Geräte eingespart wird, was im grundsätzlichen Gegensatz zu elektronikbasierten Konzepten steht. Es hat sich gezeigt, dass non-verbale Visualisierungen durch die virtuellen Pflanzen auch daran scheitern, dass die Identifikation des Anwenders mit dieser Lebensform zu schwach ist. Folglich liegt eine zusätzliche Erweiterungsoption darin, virtuelle Charaktere einzusetzen, was im folgenden Kapitel beleuchtet wird.

⁵⁷ z.B. Neuheitseffekte oder gesellschaftliche Trends

5.10 Kapitelzusammenfassung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit sich die adaptive Formsprache, die zunächst als kinematographisches Werkzeug für interaktive Dramen entwickelt wurde, auf andere Einsatzgebiete übertragen lässt. Weil Energiesparen und Umweltschutz derzeit hochaktuelle Themen unserer Gesellschaft sind, werden persuasive Ansätze beleuchtet, die Verbrauchern helfen, Strom zu sparen. Studien zeigen diesbezüglich, dass die Aufklärung über den eigenen Verbrauch ein essentielles Mittel auf dem Weg zur Verhaltensänderung ist. Bei Vergleichen von Individuen und Gruppen lassen sich zudem kompetitive wie auch kollaborative Effekte nutzen, um die Wirksamkeit zu erhöhen. Die Identifikation von Zielgruppen und deren Lebensumfeld ist ein essentieller erster Entwicklungsschritt, der eine sorgfältige Abwägung verlangt, ab wann und für wie lange Effekte überhaupt erreicht werden sollen. Das Kapitel betrachtet zahlreiche bestehende Projekte, die innovative künstlerische Interpretationen zum Thema „Eco Visualization“ zeigen.

Ein mehrteiliger Aufbau wurde prototypisch umgesetzt, um reale Verbrauchsdaten in Büroräumen zu erfassen. Da sich reale Arbeitsplätze jedoch individuell unterscheiden, müssen Messwerte relativiert werden, um Vergleichbarkeit herzustellen. Zudem sind bei der Arbeit mit Sensorik Strategien für den Umgang mit Ausfallzeiten und großen Datenmengen nötig. Durch Zwischenschaltung eines separaten Publikationsservers in der umgesetzten Architektur kann jedes http-fähige Visualisierungsprogramm an die erfassten Datenquellen angebunden und Grafikkonzepte so schnell getestet werden. Für die Auswahl einer konkreten Präsentationsform im Anwenderszenario sind allerdings deren perzeptive Vor- und Nachteile zu betrachten und abzuwägen. In diesem Zusammenhang wurden Konditionen diskutiert, die unmittelbaren Einfluss auf die Wirksamkeit des Ansatzes haben. Bei schwacher Ausprägung der Komponenten des Foggschen Verhaltensmodells etwa sind schwache Ergebnisse zu erwarten, d.h. der Anwender muss zum Beispiel ein grundsätzliches Interesse und die Fähigkeit zum Energiesparen haben. Da Bewertungen der Energiesparleistung zudem relativ zum Einsatzkontext und stark personenabhängig sind, kann ein grundsätzlicher Lösungsansatz darin liegen, stärker als für die meisten Softwareprodukte üblich auf die individuellen Bedürfnisse, Präferenzen und Persönlichkeitseigenschaften des Anwenders einzugehen.

In einer Nutzerstudie wurde schließlich die Attraktivität der Visualisierungsformen „TimeStack“ aus Kapitel 3 und „Adaptive Bäume“ aus Kapitel 4 miteinander verglichen. Die Evaluierung bestätigte die jeweils angenommenen Eigenschaften hinsichtlich

Komplexität, Detailgrad und damit einhergehender Bedienbarkeit. Die ästhetische Darstellung schnitt insgesamt deutlich besser ab als die sachliche und wurde als attraktiver bewertet. Für den konkreten Anwendungsfall als Energiedatenmonitor wurde jedoch einerseits der fehlende Einblick in die Messdetails seitens der Bäume, andererseits die schwer zu überschauende Detaildichte des TimeStack kritisch gesehen. Konkrete Vorschläge zur Verbesserung und Weiterentwicklung umfassten z.B. die Anbindung einzelner Sensoren an einzelne Elemente des virtuellen Gartens oder das Kombinieren der beiden Visualisierungstechniken als Form unterschiedlicher Detailstufen.

Abschließend wurde das Potential von sozialen Netzen und Spielifizierung diskutiert. Anreize entstehen dabei sowohl durch Wettbewerbsfaktoren innerhalb von Anwendungsgemeinschaften als auch durch die Integration von Spielmechaniken in das Interaktionskonzept. Das Aufteilen von Datenquellen, z.B. Energiesparsensoren, auf mehrere individuelle „adaptive Bäume“ erhöht den Informationsgehalt und kann als Grundlage eines kompetitiven Spiels dienen, wenn diese z.B. auf öffentlichen Displays in Wettbewerb gestellt werden. Die Eindrücke aus dem Spielverlauf eines prototypischen Augmented-Reality-Spiels zeigten, dass sowohl der innovative Charakter der adaptiven Visualisierungen, wie auch der durch Vergleiche entstehende Wettbewerb zur Beliebtheit des Spiels beitrugen. Eine Portierung zu einem Spielkonzept für soziale Medien ist denkbar. Der Erfolg solcher Spielkonzepte ist durch schlichte Kopie andernorts erfolgreicher Strategien jedoch nicht grundsätzlich gewährleistet, d.h. das Spielkonzept muss präzise auf den Anwendungsfall und die Spieler ausgerichtet werden.

6. Verstärkung der emotionalen Bindung durch virtuelle Charaktere

Es stellte sich im Rahmen des im vorherigen Kapitel beschriebenen Experiments heraus, dass die virtuellen Bäume zwar insgesamt auf positive Resonanz stießen, aber nur einen geringen Anreiz zur tatsächlichen Verhaltensänderung darstellen. Die fehlende Identifikation mit der virtuellen Lebensform scheint dabei ein Problem zu sein. So erkennen die Teilnehmer zwar den verwelkten Gesundheitszustand als negatives Signal, doch scheint die Anteilnahme nicht auszureichen, um eine Auseinandersetzung mit den Ursachen zu bewirken. Dieses Kapitel beschäftigt sich daher mit dem Einsatz von virtuellen Charakteren, deren Personifizierung Potential für eine stärkere Identifikation des Anwenders mit dem System hat.

6.1 Bestehende Ansätze

Mehrere Studien, darunter die von Midden und Ham, untersuchten die Persuasionseffekte, die eine künstliche Figur bewirken kann. Sie präsentierten den Teilnehmern ihrer Studie Rückmeldungen zum Energieverbrauch einer simulierten Waschmaschine in verbalisierter Form, vorgetragen von einer roboterartigen Katze. Im Vergleich zur ebenfalls interaktiv angebotenen Darstellung faktischer Messgrößen stellen sie fest, dass sich die Meldungen durch einen physischen Agenten deutlich besser eignen, um Verhaltensänderungen bei Nutzern zu induzieren. (Midden, et al., 2008)

Die in den vorangehenden Kapiteln beschriebenen Gestaltungsprinzipien lassen sich auch im Bereich des Character-Designs anwenden, wo Hintergründe und Inhalte in die Konstruktion einer virtuellen Persönlichkeit einfließen. Immer wieder werden Arbeiten auch auf etablierten Konferenzen präsentiert, deren digitale Charaktere aber eben unter der Vernachlässigung dieser für Kunstschaffende selbstverständlichen Grundlagen und der daraus resultierenden wenig überzeugenden grafischen Erscheinung leiden. Dabei sind Agenten sehr viel effektiver, weil verständlicher, wenn ihr Verhalten visuell reflektiert und dadurch für den Anwender lesbar wird (Sengers, 1999; Sengers, et al., 2005). Erfahrungswerte aus der Lehrpraxis deuten darauf hin, dass dies aber nicht bloß auf einen Mangel gottgegebener Talente zurück zu führen ist. Vielmehr scheinen ansprechende grafische Aufbereitungen ganz wesentlich auf zwei Faktoren zu basieren: dem *Bewusstsein* und der *Erfahrung*. Zunächst muss sich jeder Gestalter über sein Tun sowie die Konsequenzen im Sinne kommunikativer Möglichkeiten be-

wusst sein. Dazu gehört einerseits das erlernbare Sachwissen zu Methodik und Werkzeugen, andererseits aber auch die Schulung der eigenen Wahrnehmung. Fries schreibt dazu:

„Ein an Gestaltung geschultes Auge erkennt zusätzlich ästhetische Momente und Dimensionen – und vor allem besitzt es die Fähigkeit, die Bildhaftigkeit und den Bildaufbau des Gesehenen genau zu analysieren.“ (Fries, 2010)

Gemeint ist hier vor allem das Aufgeben des zumeist im Alltäglichen angewöhnten selektiven Sehens („Tunnelblick“) zugunsten einer gesamtheitlichen Wahrnehmung. Diese hilft sowohl bei der Bewertung, Interpretation und Reflektion von Gesehenem, wie auch eigener Arbeiten. Es handelt sich um eine essentielle Fähigkeit, die sich aber trainieren lässt. Erfahrungen, die aus Übung, Beobachtung und stetiger Weiterentwicklung entstehen, stellen die zweite Säule für die Entwicklung gestalterischer Fähigkeiten dar. Obwohl die Beschäftigung mit Kreativem in jedem Alter begonnen werden kann, haben Künstler oft einen Entwicklungsvorsprung, da sie schlichtweg mehr Übung haben und vielleicht schon seit Kindesbeinen an kreativ tätig sind. Zu guter Letzt mag auch der zusätzliche kognitive wie handwerkliche Arbeitsaufwand ein Grund für mangelhafte Gestaltung sein. Steht er nicht ausdrücklich im unmittelbarem Zusammenhang mit der Forschungsfrage, wird jeglicher Zusatzaufwand gerne vermieden. Dabei ist die strikte Trennung von anderen Untersuchungsgegenständen durch die starke kommunikative Eigenschaft grafischer Elemente nicht trivial. Soll beispielsweise untersucht werden, ob unterschiedliche Bewegungsabläufe eines Charakters per se eher weiblich oder eher männlich wirken, so müssen diese von einem geschlechtsneutral gestalteten Modell ausgeführt werden, um die Bewegungskomponente zu isolieren. Obwohl in diesem Beispiel die äußere Erscheinung zunächst keinen direkten Bezug zum Bewegungsablauf zu haben scheint, transportiert eine z.B. äußerlich männlich gestaltete Figur automatisch Männlichkeit, wodurch eine unvoreingenommene Bewertung der reinen Animation kaum mehr möglich ist.

Betrachtet man gestalterische Fachliteratur, die sich mit der Analyse oder Dokumentation der Entstehungsprozesse erfolgreichen Character-Designs beschäftigt (Bancroft, 2006; Eisner, 2001; Osipa, 2007; Sheldon, 2004; Stanchfield, et al., 2009; Thomas, et al., 1981; Whitlatch, et al., 2010), so kann als Essenz in den meisten Fällen festgehalten werden, dass der grafische Anreiz einer virtuellen Figur maßgeblich von der Berücksichtigung der zugrundeliegenden Geschichte abhängt. Nicht willkürliche

Gestaltgebung, sondern die Konstruktion einer Persönlichkeit, die durch ihre Lebensumstände, Schicksale, Erziehung, Erfahrungen oder Lebensraum buchstäblich gezeichnet wird, sorgt demnach für glaubwürdige, überzeugende und beeindruckende Figuren. Die in Kapitel 4.1.3 angesprochenen Beispiele aus den Spielen *FABLE* und *INFAMOUS* zeigen, wie dies sogar Teil der Spielmechanik werden kann. Ganzheitliches Denken bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich beispielsweise das Alter einer Figur nicht nur in ergrauten Haaren, sondern auch in der Bewegungs-, Verhaltens- und Sprechweise widerspiegelt. Aus Konsistenzgründen betrifft dies sowohl die grafische als auch die inhaltliche Gestaltung.

Die Software *ATTRIBIT* (Chaudhuri, et al., 2013) macht die einer 3D-Modellierung zugrunde liegende inhaltliche Aussage sogar zum essentiellen Bestandteil des Arbeitsprozesses. Autoren können hier plastische Objekte durch die Gewichtung semantischer Attribute modellieren, was sich sowohl für virtuelle Charaktere als auch für Gegenstände einsetzen lässt. Statt wie bisher Formeigenschaften wie z.B. Größe oder Volumen zu definieren, hat der Anwender hier die Möglichkeit die *Wirkung* des Objekts zu bestimmen, etwa auf einer Skala von „harmlos“ bis hin zu „gefährlich“. Einen Nachteil der bisherigen prototypischen Implementierung sehen die Autoren darin, dass neue Modelle nur aus bestehenden Bibliotheksobjekten zusammengebaut werden können. Wirklich neue Inhalte erfordern daher eine Erweiterung hin zur automatisierten Generierung von Modellkomponenten.

6.2 Ansatz für pädagogische Agenten

Im konkreten Anwendungsfall des *DYNALearn*⁵⁸-Projekts vermittelt eine Gruppe von virtuellen Charakteren Systemrückmeldungen und Hilfestellungen in personalisierter Form. Es ist wichtig, dass diese Charaktere nicht aufdringlich oder störend wirken, weshalb sie proaktiv nur auf Anforderung des Anwenders agieren. Dem Einsatz grafischer Figuren liegt die oben bereits geschilderte Theorie zugrunde, dass der Dialog mit virtuellen Persönlichkeiten zum besseren Verständnis, intuitiverer Bedienbarkeit und einer höheren Motivation des Anwenders führt, als dies z.B. mit reinen Textdarstellungen der Fall wäre.

6.2.1 Für die Gestaltung relevante Projektparameter

Ähnlich zu anderen Lernumgebungen ist auch die *DYNALearn*-Software dafür ausgelegt, individuelles oder auch kollaboratives Arbeiten im Klassenzimmer zu unterstützen. Das hier entstehende Bild von Lehrern und Schülern ist offensichtlich und wurde daher metaphorisch bei der grafischen Konzeption der virtuellen Persönlichkeiten aufgegriffen. Während der auf dem Bildschirm inszenierten Dialoge kommen Rollen wie die des Lehrers, Mentors und Schülers sowohl zwischen den virtuellen Charakteren untereinander als auch zwischen dem Anwender – einem Schüler oder Studenten – sowie den Figuren zum Tragen.

Der menschliche Student nimmt hier eine von zwei grundsätzlichen Interaktionsrollen ein. Spielen sich Dialoge zwischen den Charakteren ab, so wird der Anwender zum *Beobachter*, der eine höhere Machtstellung hat, ähnlich einem Haustierbesitzer, der in einen Käfig oder ein Aquarium sieht. Eingriffe verbinden die beiden Hierarchieebenen zwar, doch geschieht dies im Sinne des Gebens von Impulsen, die neue Reaktionen stimulieren. Im zweiten Rollenmodell hingegen nimmt der Anwender aktiv am Geschehen teil, wodurch er selbst als *Darsteller* in der Szene präsent ist. Die Figuren können und sollen die Person dabei als Interaktionspartner auch wahrnehmen und zum Beispiel Rückfragen stellen oder eingegebene Inhalte verstehen und darauf angemessen reagieren. Am stärksten ist diese Form der Integration des Menschen und des virtuellen Charakters im Anwendungsfall des „Teachable Agent“, bei dem dem Charakter Wissen vermittelt und dieses später abgefragt werden kann. Der virtuelle Raum wird hier zum (virtuellen) Klassenzimmer im (realen) Klassenzimmer des Lernenden.

⁵⁸ <http://www.dynalearn.eu>

Lehrer-Figuren sind die klassische Rollenbelegung für Agenten innerhalb von Lernumgebungen. Sie charakterisieren sich in der Regel durch eine dem Anwender überlegene Kompetenz und einem freundlich-ruhigen Wesen, was in verschiedenen Publikationen illustriert wird (Conati, et al., 2004; Johnson, 2000; Biswas, et al., 2009). Einige Charaktere treten als vollständige Figur in Erscheinung, während in anderen Fällen nur Portraits gezeigt werden, etwa in den Projekten *AUTOTUTOR* (Graesser, et al., 2001) oder *BETTY'S BRAIN* (Leelawong, et al., 2008). In diesen Projekten interagieren Charaktere kaum miteinander, noch ist eine derart enge Interaktion wie im Fall des belehrbaren Agenten möglich, wodurch sich die Charaktere in *DYNALearn* abheben.

6.2.2 Aspekte für die Gestaltung interaktiver Agenten

Zusätzlich aus den Projektparametern, die im Fall von *DYNALearn* sowohl die Eigenschaft eines beobachtbaren Versuchslabors als auch ein klassenzimmerorientiertes Dialogverhalten vorsehen, sind einige gestalterische Faktoren zu berücksichtigen, die sich im besonderen auf interaktive Charaktere beziehen. (André, et al., 2009)

- **Realitätsgrad.** Extremer grafischer Realismus ist kein Garant für eine erhöhte Glaubwürdigkeit, und kleine grafische Mängel, die zum heutigen Zeitpunkt kaum zu vermeiden sind, führen zu Irritationseffekten wie dem „Uncanny Valley“ (Mori, et al., 2012). Abstraktion kann dagegen sogar hilfreich sein, um z.B. Gefühlsausdrücke eines Charakters zu unterstreichen, wie es z.B. in vielen Zeichentrickfilmen der Fall ist.
- **Expressivität.** Je nach Konversationskomplexität kann es erforderlich sein, dass neben der expliziten Sprache auch nonverbale Signale sichtbar sind. So lassen sich Mimik und Gestik dazu einsetzen, um emotionale Zustände des virtuellen Charakters verständlich zu machen. Aufgrund ihres Körperbaus sind z.B. nicht alle Tiere für den Einsatz in einem Dialog geeignet, der einer Mensch-zu-Mensch-Konversation nachempfunden ist.
- **Grad der Vermenschlichung (Anthropomorphismus).** Tiere oder Fantasiewesen lassen sich vor allem in abstrahierter Darstellung vermenschlichen, etwa um die Expressivität zu erhöhen. Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, dass ein menschenartigeres Aussehen auch höhere Erwartungen beim Zuschauer weckt (Baylor, et al., 2004). Der Beibehalt von tierischen oder surrealen Charakteristika kann im Gegensatz zu rein menschlichen Figuren den Vorteil aufweisen, dass die Erwartungshaltung niedriger liegt. Schließlich fällt es leicht

ter, einem Tier, das in Realität z.B. ohnehin nicht sprechen könnte, kleine Sprach- und Kommunikationsfehler zu verzeihen (Mateas, 1997 S. 13).

- **Audio-visuelle Konsistenz.** Lee et al. stellten fest, dass das Gefühl einer sozialen Präsenz maßgeblich von der Konsistenz zwischen Grafik und Audioausgabe abhängt. Dies betrifft einerseits die Synchronizität, andererseits aber auch, ob die grafisch dargestellte Persönlichkeit mit der Sprechstimme harmonisiert (Lee, et al., 2003). Transportiert die künstliche Stimme Wesenszüge, die dem Betrachter selbst ähneln, so wirkt dies besonders attraktiv und kann z.B. auch bewirken, dass sich der Anwender leichter hin zu einem gewünschten Verhalten motivieren lässt. Nass et al. konnten dies hinsichtlich des Vertrauens in Produktbeschreibungen und die Bereitschaft zum tatsächlichen Kauf feststellen (Nass, et al., 2000). Da der Einsatz einer natürlich klingenden Stimme für einen synthetisch aussehenden Charakter verstörend wirkt, müssen auch technische Qualität und Charakteristik audiovisuell übereinstimmen.
- **Rollenkonsistenz.** Überzeugende Rollen erfordern, dass das Persönlichkeitskonzept sowohl grafisch, aber auch in allen anderen Bereichen, wie z.B. der Sprache, nonverbalen Signalen und dem Verhalten, reflektiert wird. Erst durch eine ganzheitliche Inszenierung lässt sich sicherstellen, dass die Rollen und Persönlichkeiten sowie Statusbeziehungen innerhalb der Darstellergruppe zur Geltung kommen. So unterscheiden sich z.B. der Kleidungsstil, aber auch Redewendungen und Formulierungen zwischen Lehrer- und Schüler-Figuren; introvertierte Charaktere sollten sich zurückhaltender verhalten als extrovertierte, die z.B. häufiger proaktiv agieren dürfen.
- **Kulturelle und soziale Kontexte.** Für das international angelegte *DYNALearn*-Projekt war es aufgrund der globalen Reichweite erforderlich, ein kulturübergreifendes, bzw. kulturunabhängiges Design der Charaktere zu erreichen, um die Zielgruppen in allen Ländern gleichermaßen anzusprechen. Der Einsatz von tierischen Charakteren erleichtert dies, da diese weniger kulturspezifisch sind, als es z.B. mit menschlichen Charakteren der Fall wäre. Lässt sich die Definition des Zielpublikums konkretisieren, so ist es dagegen ratsam, auf die kulturellen und sozialen Gegebenheiten und Erwartung einzugehen. Anwender tendieren grundsätzlich dazu, mit Charakteren zu sympathisieren, die ihrer eigenen Person ähneln (Nass, et al., 2000; Baylor, et al., 2004).

- **Daseinsberechtigung.** Der Einsatz virtueller Charaktere soll durch intuitive Bedienbarkeit und Anregung des Nutzerinteresses eine Verbesserung des Zielprodukts bewirken. Umgekehrt bedeutet das, dass Charaktere nicht willkürlich und ohne Entstehen eines echten Mehrwerts zum Einsatz kommen dürfen, zumal sie dann lediglich ablenken und unnötige kognitive Last erzeugen. In der Gestaltung bedeutet das auch, dass das grafische Design nicht Offensichtliches oder ohnehin schon Sichtbares replizieren soll. (Thomas, et al., 1981)
- **Emotionale Bindung.** Die bloße Anwesenheit eines virtuellen Charakters wirkt durch seinen Neuheitswert höchstens kurzfristig motivierend. Um eine langfristige Bindung zwischen dem Anwender und einem virtuellen Lebewesen herzustellen, ist es erforderlich, eine tiefergehende emotionale Bindung aufzubauen. Wenn dies gelingt, birgt der entstehende Fürsorgewunsch ein großes Motivationspotential, wie sich an Beispielen wie dem *TAMAGOTCHI*, *PETZ* (Stern, et al., 1998) und Roboterspielzeugen (Donath, 2004) zeigt. Allerdings sehen einige Beobachter bei diesen virtuellen Haustieren einen wesentlichen Erfolgsfaktor in ihrer expliziten Funktionslosigkeit (Kaplan, 2000), weshalb eine direkte Übertragung dieses Produktkonzepts auf Agenten, die eine zweckgebundene Anwendung bereichern, nur sehr begrenzt möglich ist.

6.2.3 Reflexion des Projektrahmens in der Persönlichkeitsgestaltung

Trickfilmartig abstrahierte Haustiere erfüllen die zuvor beschriebenen Kriterien sehr gut. Die Mischung von tierischen und menschlichen Eigenschaften wie z.B. Körpersprache und Mimik vereint die Popularität sowie Interkulturalität von Haustieren mit dem Kommunikationsrepertoire des Menschen. Von *DYNALearns* Wissensdatenbank gelieferte Inhalte lassen sich so gut verständlich präsentieren, während die Erwartungen des Anwenders an die Leistungen, die ein solcher technischer Charakter erbringen kann, realistisch bleiben.

Da *Hamster* als Haustiere weltweit bekannt und in gegenwärtigen Unterhaltungsmedien⁵⁹ präsent und beliebt sind, treten sie als virtuelle Agenten in *DYNALearn* auf. Studien von Riehmann et al. zur Visualisierung eines Ernährungsratgebers konnten deutlich zeigen, dass Kinder einen virtuellen Hamster gegenüber einem virtuellen Menschen bevorzugten (Riehmann, et al., 2014). Der Blick auf die Programmoberfläche als Metapher für einen Laborkäfig spiegelt sich ebenfalls im Bild des Hamsters wieder, zumal diese Tiere zeitweise als Sinnbild für Versuchstiere galten. Einige Hamstergattungen sind mittlerweile vom Aussterben bedroht, was einen gedanklichen Zusammenhang zum Umweltschutz bildet, den *DYNALearn* inhaltlich thematisiert. Hinsichtlich des Einsatzes der Software im Unterricht ist erwähnenswert, dass in Großbritannien der Begriff des „Idea Hamster“ existiert, der eine besonders kreative und ideenreiche Person beschreibt. Die Universität Oldenburg entwickelte ein Hamster-Modell sogar als didaktische Grundlage für das Erlernen der Java-Programmiersprache⁶⁰.



Abb. 73: Das Agenten-Ensemble des *DYNALearn*-Projekts. [Modellierung: Bühling/Flutura 2009]

⁵⁹ In Animationsfilmen wie „Bolt“ oder „G-Force“ spielen Hamster und Meerschweinchen beispielsweise tragende Rollen.

⁶⁰ www.java-hamster-modell.de

Abb. 73 zeigt das Ensemble von virtuellen Charakteren, die aus den Anforderungen heraus konzipiert und umgesetzt wurden. Da der Anspruch an das Agentenverhalten in der Erfüllung anerkannter pädagogische Muster und Erwartungen lag, bilden drei bewährte Lehrmethoden die Grundlagen für die Persönlichkeitstypen der Charaktere:

- **Lernen durch Lehren (Learning by Teaching)** (Blair, et al., 2006): Der Anwender erklärt dem Agenten konzeptuelles Wissen, reflektiert es dabei selbst und lernt beispielsweise aus falschen Antworten, die der Charakter aufgrund fehlerhafter Unterweisung gibt. Diese Rolle wird in *DYNALearn* durch *Schüler* repräsentiert, die sich ähnlich dem Anwender selbst, in einer Unterrichtssituation befinden.
- **Denkanstöße (Scaffolding)** (Lipscomb, et al., 2001): Statt komplette Lösungen vorzugeben, erhält der Lernende in diesem didaktischen Modell nur Denkanstöße in Form von Hinweisen, die sich außerhalb seiner Möglichkeiten befinden. Das selbstständige Erarbeiten von Lösungswegen ist hierbei eine zentrale Grundidee. Diese Rolle wird in *DYNALearn* durch den *Lehrer* vertreten, der ähnlich wie sein menschliches Pendant auftritt und agiert.
- **Spielerisches Lernen (Educational Quizzes)**: Studien (Randel, et al., 1992) zeigen, dass der Einsatz von spielerischen Elementen zum besseren Verständnis von Lerninhalten beitragen können. Auch *DYNALearn* verfügt über einen Quizmodus, in dem das Verständnis von Modellinhalten durch Frage-Antwort-Spiele trainiert werden kann. Der Modus wird von einem *Quizmaster* moderiert, der symbolisch für alle Spielinhalte steht.

Eine zusätzliche Rolle ist der *Mechaniker*, der für technische Hilfestellungen konzipiert wurde und daher neben den didaktischen Rollen auftritt.

6.3 Ebenen grafischer Konkretisierung im DynaLearn-Projekt

Die zuvor bereits umfassend diskutierte Notwendigkeit, inhaltliche Eigenschaften grafisch zu transportieren, begründet nun das konkrete Aussehen der virtuellen Charaktere der DYNALearn-Software. Jedem Gestaltungselement liegt die Überlegung zugrunde, welche Persönlichkeit und Rolle von dem Charakter transportiert werden soll.

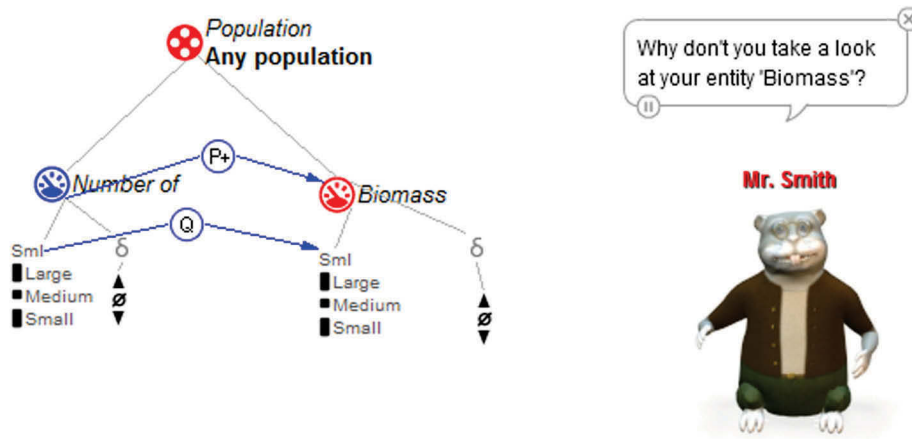


Abb. 74: Der Lehrer-Charakter gibt eine konstruktive Anregung, um den Lernenden in einer festgefahrenen Situation zu unterstützen. Sein hilfsbereites, ruhiges Naturell wurde in der grafischen Gestaltung des Charakters aufgegriffen. (Ein Fehler in diesem Modell ist, dass Biomass als Condition statt Consequence deklariert wurde.)

Die Lehrer-Rolle artikuliert sich z.B. stets mit freundlichen und geduldigen Worten und versucht den Lernenden im Sinne des Gebens von Denkanstößen zu unterstützen (Abb. 74). Entsprechend weist die Figur ein älteres Aussehen auf, welches Lebenserfahrung, Geduld und Wissen vermittelt. Neben dem ergrauten Fell und einer Brille drückt sich das Alter auch in einem traditionell-konservativen Kleidungsstil aus, dessen warme Erdfarben den Gedanken von Bodenständigkeit wörtlich aufgreifen.

Abb. 75 zeigt exemplarisch einige weitere Gestaltungsentscheidungen, die für die Agenten getroffen wurden, um Persönlichkeitseigenschaften zu vermitteln.



Abb. 75: Beispiele für die Ausprägung von grafischen Attributen, die helfen, die Persönlichkeit und Rolle der Agenten zu visualisieren.

6.3.1 Farbigkeit

Die meisten grafischen Charaktere weisen eine stark reduzierte Farbpalette auf, die sorgfältig ausgearbeitet wurde. Bei diesem Entwurfsprozess müssen sowohl die Gesamtwirkung als auch die Harmonie der Farben untereinander festgelegt und überprüft werden. Das grafische Muster das durch einen Farbcode entsteht, hilft, den Charakter leichter lesbar zu machen und erhöht seinen Wiedererkennungswert. Im Rahmen einer Werbekampagne für *LEGO* demonstrierte die Werbeagentur *JUNG VON MATT* 2012 anschaulich, wie stark Farbmuster wirken. Um Erwachsene auf die dänischen Bauklötzchen aufmerksam zu machen, bildeten die *LEGO*-Steine Comicfiguren nach, die die Kindertage der heute erwachsenen Zuschauer prägten. Das besondere ist dabei, dass keine Formen, sondern lediglich Farbcodes mit groben Blöcken nachgestellt werden. Diese sind jedoch so prägnant, dass sich *DIE SIMPSONS*, *DONALD DUCK*, *ASTERIX UND OBELIX* oder *ERNIE UND BERT* mühelos wiedererkennen lassen (Jung von Matt, 2012; Williams, 2012).

Wendet man das Abstraktionsprinzip aus dem Beispiel der *LEGO*-Werbung auf die Hamster an, so verdeutlicht sich das Farbmuster, das jeden Charakter kennzeichnet. Abb. 76 zeigt diese Aufschlüsselung, in dem ein Raster über jeden Hamster gelegt und jedes Feld mit der jeweils dominierenden Farbe gefüllt wird.

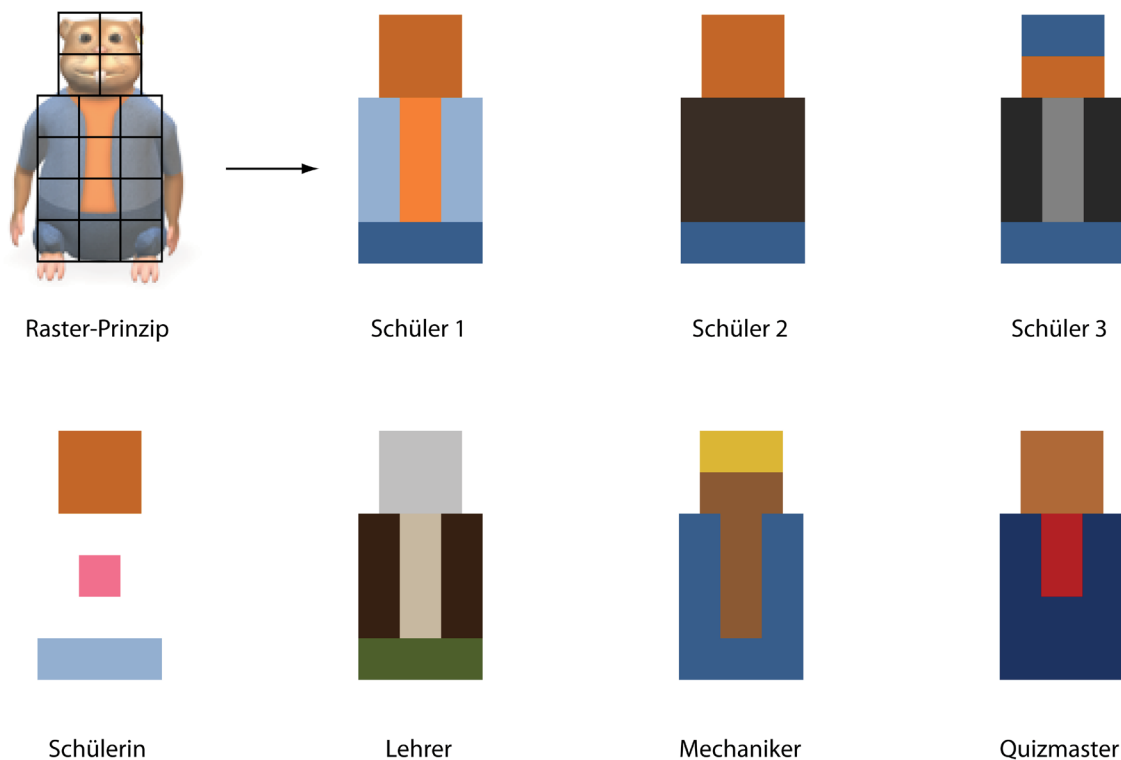


Abb. 76: Visualisierung der Farbmuster, die die einzelnen Persönlichkeiten der Hamster codieren. Die Farbaufteilung kann erzeugt werden, in dem ein Raster über den Charakter gelegt und die jeweils dominierende Farbe für jedes Farbfeld eingetragen wird.

Neben dem Erzeugen eines Wiedererkennungswertes eignen sich Farben durch ihre starke visuelle Bedeutung gut, um Charaktereigenschaften zu unterstreichen. Die Farbigkeit der DynaLearn-Charaktere richtet sich zu diesem Zweck nach Alter, Vitalität und Lebhaftigkeit der darzustellenden Persönlichkeit. Abb. 77 zeigt die Staffelung der Hamster nach ihrer Farbigkeit. Die Sättigung der Fellfarbe verringert sich beispielsweise proportional zum Alter des Charakters. Lebhaftere Persönlichkeiten wie der Quizmaster oder die Schüler folgen zudem insgesamt bunten, kontrastreichen Farbkombinationen, während sich ruhigere Typen durch sanfte und kontrastarme Paletten charakterisieren.

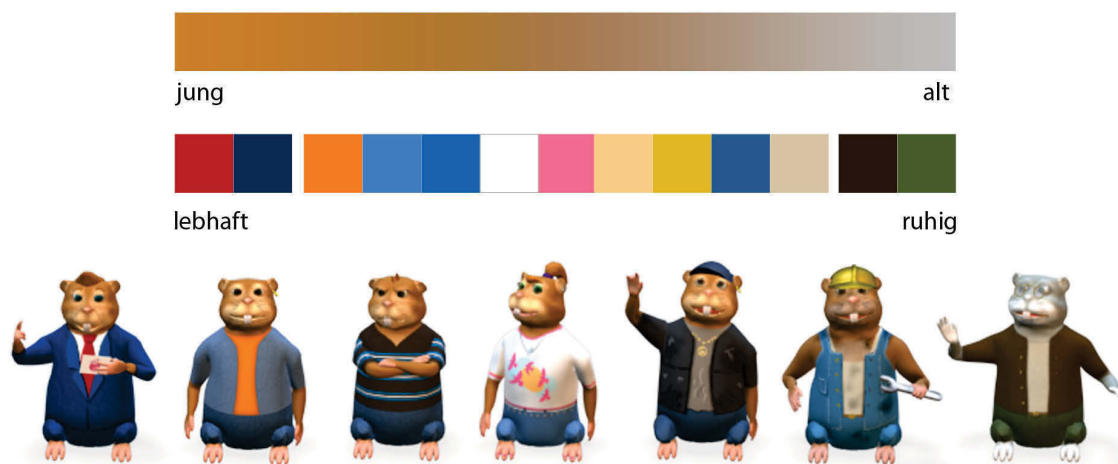


Abb. 77: Nach Farbigkeit gestaffelte Charaktere. Das Lebensalter drückt sich über den Sättigungsgrad der Fellfarbe aus, die Lebhaftigkeit durch Intensität, Sättigung und Kontrast des Kleidungsstils. [Bild aus (Bühling, et al., 2010)]

6.3.2 Animation & Verhalten

Farbigkeit, Form und Ausstattung sind visuelle Erzählelemente, die jederzeit sichtbar sind und daher konstant auf den Betrachter wirken. Bezieht man die Zeitkomponente mit ein, die innerhalb interaktiver Medien in Form von Animationen Anwendung findet, so stellt sich die Frage, inwieweit sich Bewegungsmuster gezielt einsetzen lassen, um die darzustellende Persönlichkeit zu unterstreichen. Die Hamster-Charaktere unterscheiden sich auf temporaler Ebene in erster Linie hinsichtlich des für eine Bewegung vereinnahmten Raums, d.h. der Ausdehnung, sowie der Geschwindigkeit. Gesetzte Charaktere, wie der Lehrer, führen Bewegungen ruhig und dicht am Körper aus, während dynamische Persönlichkeiten, wie z.B. die Schüler, ausladend und schnell agieren.

Da sich Animation naturgemäß schlecht in statischen Medien, wie dem vorliegenden Druckwerk darstellen lassen, wurde ein Verfahren angewendet, das alle Bewegungen innerhalb eines Zeitraums in ein Einzelbild zusammenfasst. Dies erlaubt zum einen die Ausbildung charakteristischer grafischer Muster, die den Raum markieren, der von der Animation eingenommen wird. Durch Gewichtung der Nutzungshäufigkeit jedes Pixels und dem entsprechenden Abschwächen bzw. Verstärken der Einfärbung wird zum zweiten sichtbar, wie viel Zeit jedes Pixel in der Animation beansprucht oder anders ausgedrückt, in welchen Bildbereichen schnelle bzw. langsame Bewegungen stattfinden. Das Verfahren wird in Anhang 8 näher beschrieben.

Abb. 78 zeigt die grafischen Animationsprofile für die Charaktere Lehrer, Quizmaster und Schüler, anhand derer sichtbar gemacht werden kann, wie sich die einzelnen Per-

sönlichkeiten in ihrem Bewegungsablauf unterscheiden. Der ruhige Lehrer gestikuliert überwiegend nah am Körper, was sich in einer körpernahen Aura in intensiven Farben abbildet. Die Bewegungen des seriösen, aber auch verspielten Quizmasters spiegeln sich in schnelleren und abwechslungsreicheren, aber nicht zu ausladenden Gesten wieder. Visualisiert wird dies durch einige Bereiche in denen hellere rote Flächen aus der Aura herausragen. Schüler-Hamster dürfen ihre jugendliche Aktivität durch schnelle, weit ausladende Bewegungen zeigen, zu sehen an weitläufigen, hellen Ausstrahlungen der Aura.

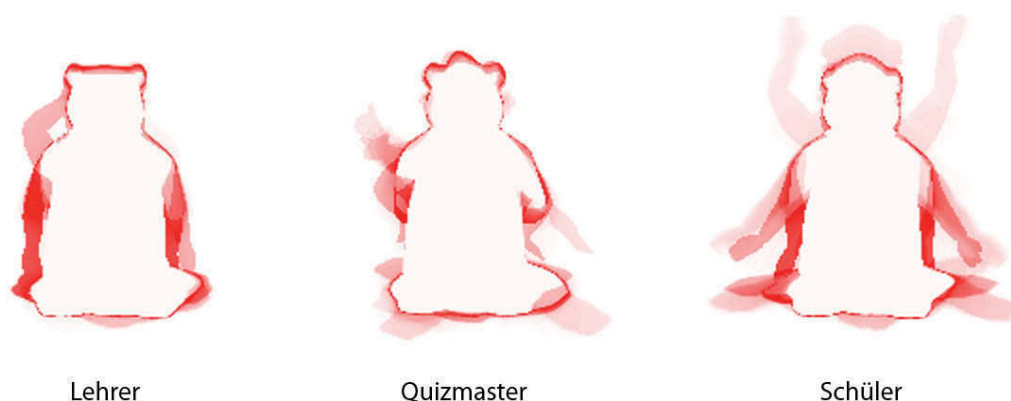


Abb. 78: Die Gestenvolumen der „Zustimmen“ und „Ablehnen“-Animationen (zusammengefasst) reflektieren die Persönlichkeit des Charakters. Bereiche in denen Bewegung stattfindet, wurden rot eingefärbt. Je dunkler der Farbton, desto langsamer ist die Bewegung an dieser Stelle. Der Körper selbst, dessen Pixel in allen Bildern zum Einsatz kommen, müsste korrekterweise den intensivsten Rot-Ton enthalten, wurde der Lesbarkeit halber aber weiß gefärbt, wodurch die Grundform sichtbar wird.

Animationen sind eng verwandt mit der inhaltlichen Programmierung des virtuellen Charakters, zumal sie diese grafisch unterstützen. Baylor und Kim unterscheiden in ihren Arbeiten die Rollenmodelle „Expert“, „Mentor“ und „Motivator“ und konnten nachweisen, dass deren Einsatz Folgen auf das Lernverhalten hat. So bewirkte die sachlich-nüchtern gestaltete Expertenrolle eine Verbesserung in der Informationsaufnahme, während sich die beiden anderen, umfangreicher ausgestalteten Rollen positiv auf das Selbstvertrauen der Lernenden auswirkten. (Baylor, et al., 2004; Kim, et al., 2006; André, et al., 2009).

Die Autoren beziehen sich desweiteren auf die Aspekte *Kompetenz* und *Aktivität* eines virtuellen Charakters, die sich direkt auf den Anwender auswirken. Ein hochgradig kompetentes virtuelles Gegenüber verbesserte ihrer Studie zufolge die Lernerfolge, verringerte aber gleichzeitig das Selbstvertrauen des Lernenden, das sich durch einen im Gegenteil inkompetenten Agenten verbessert. Die Aktivität bezeichnet wie viel bzw. wie oft die Initiative von einem virtuellen Charakter ergriffen wird. Proaktive

Persönlichkeiten, die aus eigenem bzw. systemgesteuertem Impuls heraus agieren, wirken sich positiv auf das Erinnerungsvermögen aus und helfen neuen Anwendern erste Hemmschwellen zu überwinden, denn das Vertrauen in die Führung durch den Charakter hilft dabei, die Angst vor möglichen Fehlern abzubauen. Was Anfängern hilft, muss jedoch nicht zwingend auch für fortgeschrittene Anwender geeignet sein. Diese fühlen sich im Gegenteil durch zu viel Systemführung schnell bevormundet oder in ihrem persönlichen Arbeitstempo gebremst. Das spiegelt sich auch in Kim & Baylors Studienergebnissen wieder, die darauf hinweisen, dass sich für erfahrene Anwender reaktive Charaktere besonders gut eignen. Diese stehen zwar jederzeit zur Verfügung, werden aber nur auf explizite Aufforderung aktiv. Insgesamt hängt das geeignete Maß an Aktivität von den individuellen Zielgruppeneigenschaften ab, zu denen auch das Vorwissen, persönliche Vorlieben und das Lebensalter gehören. (Kim, et al., 2006)

6.4 Zusammenfassung der Nutzerbefragungen

Im Rahmen des DynaLearn-Projekts bestätigten drei Evaluierungen die Verständlichkeit sowie die motivierenden Effekte der grafisch umgesetzten Rollenmodelle (Mehlmann, et al., 2010; Bühling, et al., 2010; Wißner, et al., 2011; Wißner, et al., 2012). Im Zentrum der Untersuchungen stand die Verifikation folgender Gestaltungsaspekte:

- **Allgemeine Wirkung der Charakter-Entwürfe an sich** durch direkten Vergleich mit anderen virtuellen Charakteren.
- **Nonverbale Vermittlung von Rollen und Persönlichkeiten** auf Ebene der grafischen Gestaltung durch Bewertung der Hamster-Charaktere untereinander.
- **Wirkung der Agenten im tatsächlichen interaktiven Dialogverhalten** durch Systemvergleich mit konkurrierender Lernsoftware.

Alle drei Studien wurden über eine Online-Befragung durchgeführt und folgten dem gleichen grundsätzlichen Aufbau: Nach dem Ansehen eines Bildes oder Videos soll der Teilnehmer mittels einer siebenstufigen Likert-Skala angeben, wie sehr er einem Attribut zustimmt (1=Disagree Strongly, 7=Agree strongly).

Die konkret abgefragten Attribut-Paare finden sich in Anhang 9.6.1.

Die mit Hilfe der internationalen DynaLearn-Projektpartner durchgeführte Studie wurde von 283 Studenten online bearbeitet, wobei nur 175 Fragebogen vollständig ausgefüllt und in der Auswertung berücksichtigt wurden. Zwar lag die primäre Zielgruppe des DynaLearn-Projekts in der Altersspanne von 17-20 Jahren, doch wurden ältere Studenten nicht pauschal von der Teilnahme ausgeschlossen, so dass das Durchschnittsalter bei 23,58 Jahren lag. Die Geschlechterzuordnung verteilte sich mit 47% Frauen und 53% Männern fast gleichmäßig.

Ein Diagramm-Darstellung der Metadaten findet sich in Anhang 9.6.2.

6.4.1 Wirkung der Charakter-Entwürfe an sich (Studie »Peedy«)

Forschungsfrage:

Wie werden die Hamster im Vergleich zu anderen Figuren wahrgenommen?

Aufbau:

Es werden sieben verschiedene Charaktere in ähnlichen Animationssequenzen in zufälliger Reihenfolge gezeigt. Der Teilnehmer drückt über eine Likert-Skala aus, wie stark er Eigenschaften einem Charakter zuordnet.

Die gezeigten Charaktere sind: Hamster-Junge, Hamster-Lehrer, Microsoft Peedy, realistische menschliche Charaktere vom DFKI und Greta, sowie die Cartoon-Charaktere Richy und Tina. Die Animationsabläufe sind: Leerlauf (idle), Sprechen (talk), Zustimmung (yes), Ablehnen (no) und Überraschung (surprise).

Teilnehmer:

74 internationale Studenten, davon 42 männlich, 32 weiblich.

Ergebnis:

Betrachtet man die Ergebnisse nach Wesenstyp (Mensch/Tier) und Stil (Realismus), so zeigt sich die generelle Tendenz, dass Tiere höhere Spaß- und Unterhaltungswerte erhielten. Menschliche Figuren schnitten dagegen besser bei intellektuellen Eigenschaften ab, vor allem wenn sie realistisch gestaltet wurden. Die Hamster hoben sich durch hohe Wertungen in den folgenden Bereichen deutlich von den anderen Charakteren ab: Freude (joy), Unterhaltung (entertainment), Einbindung (involvement) und Sympathie (sympathetic). Möglicherweise durch die Kombination von Vermenschlichung und karikiertem Tier lagen die Wertungen für Verlässlichkeit (dependable) und Intelligenz (intelligent) nahe an den Ergebnissen der menschlichen Charaktere.

Obwohl nicht ausdrücklich Ziel dieser Untersuchung, spiegeln sich die intendierten Persönlichkeiten schon hier durch besonders hohe Wertungen in entsprechenden Bereichen wieder: Der Hamster-Junge wurde als besonders extrovertiert (extraverted) und der Lehrer als besonders sachkundig (knowledgeable) eingestuft.

Ein Diagramm der konkreten Bewertungen findet sich in Anhang 9.6.3.

6.4.2 Transport von Rolle und Persönlichkeit (Studie »Hamster«)

Forschungsfrage:

Transportieren die Hamster-Charaktere die intendierten Rollen?

Aufbau:

Es werden identische Animationsabläufe für vier Hamster in unterschiedliche Rollen in zufälliger Reihenfolge gezeigt. Der Teilnehmer drückt über eine Likert-Skala aus, wie stark er Eigenschaften einem Charakter zuordnet.

Die gezeigten Charaktere sind: Schüler, Schülerin, Quizmaster und Lehrer. Die Animationsabläufe sind: Leerlauf (idle), Sprechen (talk), Zustimmung (yes), Ablehnen (no) und Überraschung (surprise).

Die beabsichtigten Persönlichkeiten können wie folgt beschrieben werden:

Der Schüler ist eine sympathische extrovertierte Person, die sagt was sie denkt und nicht immer macht was sie soll.

Die Schülerin ist zwar etwas zurückhaltender als der Schüler, aber man kann trotzdem eine gute Zeit mit ihr verbringen.

Der Quizmaster ist eine energetische Person, die sich durch Kompetenz und Wissensvorsprung für leitende Rollen eignet.

Der Lehrer tritt als Autoritätsperson auf, ohne dominant zu wirken. Durch Kompetenz, Fachwissen und sein ruhiges Wesen gibt er Hilfestellungen und Unterstützung.

Teilnehmer:

50 internationale Studenten, davon 27 männlich, 23 weiblich.

Ergebnis:

Insgesamt unterscheiden sich die Charaktere vor allem in ihren Kompetenz- und Wissensattributen. Für den Quizmaster waren am deutlichsten Unterschiede zu den anderen Charakteren erkennbar. Die Sympathie-Bewertung fiel für alle Charaktere gleich aus.

Der Schüler wurde als unterhaltsamer und angenehmer Zeitgenosse bewertet, mit hohem Erlebnis- und Spaßfaktor. Es erhielt hohe Werte in den Bereichen Extrovertiertheit (extraverted), Pfiffigkeit (smart) und Sympathie (sympathetic).

Die Schülerin wurde als gut erzogenes und gutherziges Mädchen bewertet, das nicht weniger pfiffig als der Schüler erscheint, obwohl ihr eine geringere Qualifikation zugeschrieben wurde. Sie wurde als ruhiger, wesentlich weniger kritisch, aber auch langweiliger als der Junge bewertet.

Der Quizmaster erhielt hohe Bewertungen in Attributen wie Unterhaltung (entertaining, engaging, exciting, fun, involving, ...) und Bildung (competent, knowledgeable, qualified, ...). Er wurde als extrovertiert und organisiert wahrgenommen, was gut zu einem Moderator passt, der Kandidaten durch eine Quiz-Show führt.

Der Lehrer wurde als reserviert (reserved), kritisch (critical) und weniger unterhaltsam (enjoyable, fun) eingestuft. Er hat hohe Werte im Bereich der Qualifikation erhalten (competent, knowledgeable, qualified, intelligent), die aber unter denen des Quizmasters liegen.

Diagramme der konkreten Bewertungen finden sich in Anhang 9.6.4.

6.4.3 Wirkung im Dialogverhalten (Studie »Betty«)

Forschungsfrage:

Wie werden die Hamster im Anwendungskontext im Vergleich zu einem ähnlichen System wahrgenommen?

Aufbau:

Es werden vier Videoclips von virtuellen Charakteren in ihrer Funktion als personifizierte Hilfefunktion in zufälliger Reihenfolge gezeigt. Der Teilnehmer drückt über eine Likert-Skala aus, wie stark er Eigenschaften dem gezeigten Charakter zuordnet.

Die gezeigten Anwendungsfälle sind: Grundsätzliche Programmhilfe (Basic Help) und kontextsensitive Hilfe zu Fehlern im Modell des Anwenders (Explain). Die Software-Umgebungen sind: *DYNALearn*⁶¹ und *BETTY'S BRAIN*⁶².

Teilnehmer:

51 internationale Studenten, davon 28 männlich, 23 weiblich.

Ergebnis:

Wie schon in der Studie »Peedy« erhielten die Hamster (teils deutlich) höhere Bewertungen der Unterhaltungsfaktoren als Betty, was eine Grundlage für die emotionale Bindung und Motivation liefert. Erstaunlicherweise wurden den Hamstern zudem bessere oder gleich starke soziale Attribute wie z.B. kompetent (competent), qualifiziert (qualified), intelligent (intelligent) oder pfiffig (smart) zugewiesen. Der Hamster-Junge wirkt weniger sachkundig (knowledgeable) und kompetent (competent) als der Hamster-Lehrer, was dem intendierten Design-Ziel genau entspricht. Bei Betty und ihrem Lehrer gibt es hingegen keinen Unterschied, was seltsam erscheint, da eine Schülerfigur in der Regel nicht genauso kompetent erscheinen sollte wie ein Lehrer.

Welcher Charakter insgesamt der „bessere“ ist, hängt jedoch auch stark von der Interpretation der äußeren Umstände ab. Ein höherer Wert für „desorganisiert (disorganized)“ kann schlecht sein, wenn der Charakter eine anleitende Rolle einnimmt. Soll aber eine natürliche Wirkung erzielt werden, kann es sich in gewissem Umfang um eine positive Eigenschaft handeln, zumal die Natur selbst organisch, unregelmäßig und nicht homogen oder steril ist.

Ein Diagramm der konkreten Bewertungen findet sich in Anhang 9.6.5.

⁶¹ Da die Studie zu Beginn des DynaLearn-Projekts stattfand, kam ein Video von einer auf Garp3 (<http://hcs.science.uva.nl/QRM/software/>) basierenden Simulation zum Einsatz.

⁶² <http://www.teachableagents.org/research/bettysbrain.php>

6.4.4 Zusammenfassung der Teilstudien und Erweiterungsmöglichkeiten

Tierische Charaktere erhielten höhere Bewertungen im Bereich der Unterhaltungsfaktoren. Verglichen mit den menschlichen Entwürfen erscheinen sie naturgemäß schwächer hinsichtlich intellektueller Komponenten, wobei sich dieser Effekt durch andere Qualitäten kompensieren lässt. So erschien der Hamster-Lehrer in der »Peedy«-Studie kompetenter als alle anderen Charaktere. Auch bei Berücksichtigung des Anwendungskontextes erhielten die Hamster bessere Bewertungen als das Vergleichssystem. Es wurde deutlich, dass die unterschiedlichen grafischen Persönlichkeiten sowie die durch sie unterstützten Lernmodi für den Anwender klar verständlich sind.

Da es sich in der beschriebenen dreiteiligen Studie um Fragebögen zur subjektiven Bewertung handelte, könnte die Studie in einem weiteren Schritt um messbare Kriterien erweitert werden, wenn tatsächliche Lernerfolge und pädagogische Wirkungen nachgewiesen werden sollen. Was in (André, et al., 2014) für die Beurteilung der Wirksamkeit von Datenvisualisierungen vorgeschlagen wurde, lässt sich auch auf andere Gestaltungskonzepte übertragen: Neben den im Feld der HCI⁶³ üblichen Fragebogen, die sich auf das bewusste subjektive Erleben beziehen, kann der Einsatz von Sensorik wie z.B. Blickaufzeichnungssystemen dazu genutzt werden, um objektive Messdaten wie z.B. Fixierzeiten und die Anzahl von Blickwechseln zwischen zur Verfügung stehenden Regionen zu erhalten. In direkter Auswertung wie auch in Abgleich mit weiteren Messdaten, wie der zur Beantwortung einer inhaltlichen Frage benötigten Antwortzeit, lässt sich nicht nur feststellen *welche* der angebotenen Alternativen bevorzugt wird, sondern auch *warum*.

Sowohl für die durchgeführte Gegenüberstellung der Visualisierungstechniken TimePie und TimeStack, als auch für die Beurteilung des Einsatzes virtueller Charaktere in einer Software, kann das Blickverhalten Rückschlüsse über Nutzen oder Schaden einer Darstellung liefern. Kommt z.B. DYNALearns Lehrer-Agent als Personifizierung für die integrierte Programmhilfe zum Einsatz, so gibt das Blickverhalten Hinweise dazu, ob der Anwender den Charakter tatsächlich als virtuellen Ansprechpartner anerkennt. In diesem Fall könnte z.B. die Erwartung überprüft werden, dass der Anwender bevorzugt auf den Agenten statt auf den Menüpunkt „Hilfe“ blickt, wenn er Unterstützung benötigt. Stellt sich hingegen heraus, dass der Lernende für die Bearbeitung einer Aufgabe in der Software übermäßig viel Zeit braucht, während gleichzeitig sehr viele Blickwechsel zwischen Arbeitsfläche und Charakter stattfinden, so kann dies darauf hinweisen, dass der Charakter zu stark ablenkt.

⁶³ HCI: Human Computer Interaction

Durch die Kombination von subjektiven und objektiven Evaluierungstechniken lassen sich somit Theorien (z.B. Lernhilfe durch den Charakter) grundsätzlich überprüfen, bestehende Konzepte verbessern (z.B. Effizienz der Darstellung erhöhen) und schließlich auch allgemeingültige, auf andere Projekte übertragbare, Erkenntnisse ableiten.

6.5 Kapitelzusammenfassung

Die Personifizierung durch virtuelle Charaktere stellt eine Methode dar, um die persönliche Bindung zwischen Softwareprodukt und Anwender zu verstärken. Dabei ist non-verbaler Informationstransport auch im Character-Design eine zentrale Aufgabe, die zu Verständlichkeit und Erfolg des Agenten beiträgt. Jüngste Forschung begreift die Bedeutung semantischer Attribute und richtet neuartige Werkzeuge, wie z.B. *ATTRIBIT* sogar danach aus.

Im Rahmen des *DYNALearn*-Projekts wurden virtuelle Charaktere als Motivationselement eingesetzt. In ihrer Funktion als Hilfesystem erfüllen sie Aufgaben, wie z.B. das schrittweise Führen des Anwenders durch die grafische Benutzeroberfläche oder das Nachschlagen und Erklären von Fachbegriffen. Das Vermitteln von sachlichen Fehlern in von Anwendern modellierten Inhalten, stellt eine der komplexesten Aufgaben der Charaktere dar. Didaktischen Prinzipien folgend, meldet der Agent nicht nur die identifizierten Probleme, sondern gibt Denkanstöße, die dem Lernenden helfen sollen, selbst eine Lösung zu finden. Die Rollenverhältnisse aus dem Klassenzimmer der Anwender wurde dabei sinnbildlich in den virtuellen Raum übertragen. *DYNALearn* setzt personifizierte Hamster aufgrund ihrer Popularität als Haus- und Versuchstier und der thematischen Verwandtschaft als Agenten ein. Der Anwender tritt dabei entweder als Beobachter oder als Darsteller auf, auch abhängig von den eingesetzten Lehrmethoden „Lernen durch Lehren“, „Denkanstöße“ und „Spielerisches Lernen“. Die grafische Gestaltung von *DYNALearn*s Charakteren wurde anhand der zu transportierenden Rollen und der für die Interaktion geeignetsten virtuellen Persönlichkeiten ausgerichtet. Farb-codes steigern den Wiedererkennungswert und unterstreichen die Identität eines Charakters. Bewegungsparameter wie Geschwindigkeit und Ausdehnung lassen sich zudem einsetzen, um Persönlichkeitsaspekte subtil zu transportieren.

Eine dreiteilige internationale Studie zur subjektiven Wahrnehmung bestätigte schließlich den durch die Gestaltung erreichten Transport von Persönlichkeitscharakteristika der *DynaLearn*-Charaktere. Objektive Messdaten, wie sie z.B. durch den Einsatz eines Blickaufzeichners gewonnen werden, können zusätzlich Hinweise darüber geben, warum ein Design (nicht) funktioniert und wie es sich verbessern lässt.

7. Reflexion und Perspektive

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit unterschiedlichen Visualisierungsmethoden im Kontext des „Persuasive Computing“-Paradigmas. In diesem werden Computersysteme dazu eingesetzt, um Anwender zu (selbst) gesetzten Zielen zu führen. Das Vorhaben den persönlichen Energieverbrauch zu verstehen und Einsparungen zu erreichen stellt ein solches Ziel dar, das sich als praxisbezogener Leitfaden durch diese Arbeit zieht. In der Literatur wird der Erfolg persuasiver Technologien davon abhängig gemacht, dass zunächst Hintergrund und Nutzen für den Teilnehmer verständlich sein müssen, was durch die Einführung des Energiesparszenarios gegeben ist. Nahliegend ist die weitere Anforderung, dass die Teilnehmer überhaupt in der Lage sein müssen, ihr Verhalten zu ändern. Diesbezüglich wurden mehrere Aspekte diskutiert, die zeigen, dass die Effektivität der Anwendung stark vom Einsatzumfeld abhängt. Sind Motivation und Fähigkeit jedoch gegeben, sind schließlich *Auslöser*-Elemente erforderlich, die dem Anwender Rückmeldung zum aktuellen Verbrauch geben sowie zu Verhaltensänderungen motivieren. Im Rahmen dieser Dissertation wurden drei verschiedenen Visualisierungsansätze hinsichtlich ihrer Eigenschaften als Auslöser untersucht: Sachliche Diagramme, ästhetische Formensprache und virtuelle Charaktere.

Sachlich motivierte Gestaltungsformen streben messdatennahe Darstellungen an, die meist die Visualisierung von Mengenvergleichen oder zeitlichen Entwicklungen zum Ziel haben. Die in dieser Arbeit vorgestellten neuartigen Visualisierungsformen TimePie und TimeStack zeigen in diesem Zusammenhang wie sich temporale und relationale Dimensionen kombinieren lassen, um dem Anwender einen kompakten, aber aufschlussreichen Einblick in den eigenen Energieverbrauch zu liefern. Mittels einer durch Blickaufzeichnung unterstützten Evaluierung konnten Stärken und Schwächen der jeweiligen Form identifiziert werden. Zudem ließ sich feststellen, dass die TimeStack-Darstellung von Nutzern wegen der leichteren Lesbarkeit grundsätzlich bevorzugt wird. Beide Varianten erfordern eine explizite Auseinandersetzung mit der grafisch codierten Information, um aussagekräftige Rückschlüsse ziehen zu können.

Aufgrund seiner rationalen Effizienz dominierte der sachliche Ansatz bisher in der Informatik. Weil Menschen aber nicht nur vernunftgesteuert sind, sondern sich auch durch Emotionen definieren, wurde zudem der Ansatz *ästhetischer Visualisierung* als Element der Mensch-Maschine-Kommunikation untersucht. Angelehnt an die Herangehensweise in der bildenden Kunst liegt hierbei die Theorie zugrunde, dass bildhafte Darstellungen durch ihre visuelle Expressivität und Symbolik sehr attraktiv und ein-

drucksvoll wirken. Tatsächlich konnte ein derartiger Vorteil gegenüber der sachlichen Gestaltung in einer Nutzerstudie aufgezeigt werden. Die leichtere Lesbarkeit kann einen Vorteil im Einsatz als Persuasionselement darstellen, weil dem Anwender schneller und direkter Rückmeldungen über sein Verhalten vermittelt werden können. Dabei transportiert ästhetische Gestaltung vordergründig allerdings Aussagen zur Bedeutung anstatt konkreter Messdaten. Sie ist damit grundsätzlich ungenauer, erregt aber mehr Aufmerksamkeit als sachliche Visualisierungen.

Kern der in dieser Arbeit diskutierten ästhetischen Visualisierung ist das Konzept adaptiver Formensprache. Ihm liegt einerseits das Gestaltungsprinzip zugrunde, dass die äußere Form und Kontur eines Objekts bereits eine Aussage über dessen Bedeutung transportiert. Andererseits verändert sich die inhaltliche Dramaturgie einer grafischen Inszenierung in interaktiven Medien in Echtzeit und in Abhängigkeit von Nutzereingaben. Der bisherige statische Ansatz Grafiken im Vorfeld zu erstellen und diese dann während der gesamten Anwendungslaufzeit unverändert zu belassen, scheint diesem Anspruch nicht mehr zu genügen. Wenn sich z.B. in einem Computerspiel die inhaltliche Dramaturgie verändert, weil diese etwa von moralischen Entscheidungen des Spielers abhängt, so sollte sich zugunsten einer maximalen Expressivität auch die visuell transportierte Dramaturgie entsprechend synchronisieren. Die in dieser Arbeit entwickelte „adaptive Formensprache“ knüpft hier an eine bisher kaum beachtete Nische im Forschungsfeld interaktiver Cinematographie an. Durch die Anwendung von aus der Animationsproduktion bekannten Überblendungsmechanismen wird es möglich, Objekte zu verformen und damit in ihrer grafischen Aussage jederzeit zu verändern, was die Konsistenz von grafischer Stimmung und inhaltlicher Erzählung eines interaktiven Dramas erhöht. In Ergänzung zu bestehenden computerwissenschaftlichen Arbeiten im Bereich von beispielsweise dynamischer Kameraarbeit und Lichtsetzung trägt die adaptive Formsprache einen neuen Baustein zum Werkzeugsatz dynamischer Inszenierungsmittel bei.

Neben einer Machbarkeitsstudie zur Implementierung adaptiver Formensprache in einer Echtzeit-Spielumgebung konnte in Kombination mit weiteren dynamischen Elementen ein ästhetisches Design entwickelt werden, das sich als unkonventionelle Form von Datenvisualisierung eignet. Das Arrangement von ausgewählten Objekten zu einem virtuellen Garten demonstriert die Anwendung des Prinzips visueller Adaption auf weiteren Kanälen wie z.B. Farbigkeit, Ausleuchtung und Detailreichtum. Infolge entstand eine ästhetische Grafik, deren visuelle Expressivität einen Zustand zwischen einem positiven und einem negativen Extrem einnehmen kann. Durch die Nutzung

von Interpolationsverfahren sind nahtlose Animationen zwischen verschiedenen Zuständen realisierbar, so dass die virtuellen Pflanzen sichtbar verwelken oder aufblühen können. In der einprägsamen Dramatik einer solchen Animation findet sich ein hohes Potential um Bedeutungen und Wertigkeiten emotional auszudrücken. Dies kann einen stärkeren Einfluss auf das Entscheidungsverhalten haben, als es mit sachlicher Grafik möglich wäre, was die Ergebnisse der durchgeführten Attraktivitätsstudie untermauern. Weil sich nicht nur die Werte eines dramaturgischen Modells, sondern beliebige prozentual ausdrückbare Werte als Visualisierungsgrundlage nutzen lassen, wurden Messdaten von Energiesensoren an die Grafik angebunden. Infolge entstand ein ästhetischer Datenmonitor, der mittels visueller Expressivität ausdrückt, ob sich der Anwender energiesparend verhält oder einen hohen Energieverbrauch hat. Das über die grafische Erzählung transportierte Motiv, ein verwelkender oder aufblühender Garten, steht dabei in unmittelbarem Zusammenhang mit der zu vermittelnden Thematik. Es stellt einen Kontakt zwischen Anwender und dem Thema Naturschutz her und verdeutlicht, dass eine schlechte Energiebilanz schlecht für die Umwelt ist. Der ursprüngliche Sinn und Zweck des Energiesparens wird somit in Erinnerung gehalten. Die visuelle Expressivität, Emotionalität und thematische Erzählkraft stellen dabei besondere Qualitäten von ästhetischer Gestaltung dar, von denen ein persuasives System profitieren kann.

Lediglich in der Grundtendenz bestätigt zeigte sich die Akzeptanz der Anwender ein solches System vor dem Hintergrund der Wirkungsverstärkung in den Wohnalltag zu integrieren, z.B. in Form eines digitalen Bilderrahmens. Es stellt sich daher die Frage, wie sich Aufmerksamkeit und Begeisterung für eine solche persuasive Datenvisualisierung noch steigern lassen. Hierfür wurden zwei Ansätze identifiziert und betrachtet: *Spielifizierung* und der *Einsatz virtueller Charaktere*.

Studien zeigen, dass das Engagement und Interesse der Teilnehmer steigt, wenn soziale Faktoren in ein persuasives System integriert werden. So können Wettbewerbssituationen durch Veröffentlichung und Gegenüberstellung der eigenen und der Daten anderer Teilnehmer geschaffen werden, die dazu motivieren, ein besseres Ergebnis als die Konkurrenten zu erreichen. Hierbei stehen mehrere Modi zur Auswahl, in denen Individuen oder Gruppen als Spielparteien auftreten. Derartige Spielmechanismen lassen sich auch in alltäglich genutzte Medien integrieren, wie soziale Netzwerke, wo die Integration von Spielmechanismen und die Möglichkeit der Selbstpräsentation bereits etabliert sind. Neben Einzelspielermodi kann die Motivation der Spieler von der Gruppendynamik kollaborativer Mechanismen, also z.B. Spielergruppen, profitieren.

Persuasive Eigenschaften *virtueller Charaktere* wurden anhand der Implementierung von Agenten für eine interaktive Lernumgebung untersucht. Im *DYNALearn*-Projekt stehen umfangreiche Hilfestellungen zur Verfügung, deren Spektrum von technischen Anleitungen bis hin zu komplexer kontextbezogener Fehlersuche reicht. Weil das System als Lernhilfe konzipiert wurde, folgt die konkrete Präsentation und Interaktion mit dem Hilfesystem pädagogischen Konzepten und Vorgehensweisen. Virtuelle Agenten treten dabei in der Rolle von Lehrern, Ratgebern und Mitschülern auf. Als persuasives System betrachtet, liegt das vom Anwender verfolgte Ziel hier in der Konstruktion eines fehlerfreien Konzeptmodells. Statt vollständige Lösungen zu diktieren, unterstützt die Software den Anwender bei der selbständigen Erarbeitung mittels Hilfestellungen und Anregungen. Hierfür sind unterschiedliche Komplexitätsgrade, Kompetenzstufen und Aktivitätspläne nötig, die nicht nur durch inhaltliche Meldungen zum Ausdruck kommen. Die gezielte Ausrichtung der grafischen Gestaltung auf diese virtuellen Persönlichkeitsmerkmale sorgt dafür, dass die transportierten pädagogischen Rollen dem Anwender leicht verständlich vermittelt werden. Eine umfangreiche Studie, die sowohl die Gestaltung selbst als auch deren Einsatz im Anwendungskontext berücksichtigte, bestätigte diesen visuellen Informationstransport.

Insgesamt beschäftigt sich die Arbeit mit dem sich zunehmend entwickelnden Trend, Fragestellungen der Informatik auf deren Beantwortung mittels künstlerischer Herangehensweisen hin zu untersuchen. Der in dieser Dissertation vorgestellte Ansatz adaptiver Formsprache stellt dabei eine innovative und vielseitig einsetzbare Methode dar, um interaktive Medien mit dynamischer ästhetischer Expressivität zu versehen. Es hat sich gezeigt, dass sich die emotionalen und erzählerischen Qualitäten ästhetisch motivierter Gestaltung als Auslöser-Element in persuasiven Architekturen einsetzen lassen, um unterstützenden Einfluss auf den Anwender nehmen.

7.1 Beiträge dieser Arbeit

In dieser Arbeit wird einerseits der Einfluss und Mehrwert ästhetischer Gestaltung auf die Planung und Umsetzung von persuasiver Mensch-Maschine-Interaktionen betrachtet, andererseits mit welchen Mitteln die Konzepte realisiert werden können.

Konzeptuell: Auf konzeptueller Ebene werden Hintergründe aus künstlerisch-gestalterischer Sicht diskutiert, die zum Verständnis der Rolle von Gestaltung in Informatik & Multimedia beitragen. Bildgestalterische Mittel, wie sie in der klassischen Kunst, d.h. Fotografie, Malerei, Bildhauerei, usw., etabliert sind, lassen sich auf die grafische Gestaltung von softwarebasierten Inszenierungen übertragen. Die infolge entstehende visuelle Expressivität verbessert die Nutzerinteraktion durch eine überzeugende, ganzheitliche und emotionale Präsentation. Besonders die Filmbildgestaltung (Cinematographie) liefert zahlreiche Gestaltungsregeln für Bewegtbild, das durch seine zeitliche Dimension eine Grundlage für dynamische Visualisierungen bildet. Löst man die Linearität des Films durch die Non-Linearität von computergenerierten Bildern ab, so lassen sich überzeugende Grafiken für interaktive Medien realisieren, die zu jedem Zeitpunkt inhaltlichkohärent sind.

Methodisch: Die Arbeit zeigt anhand von Studien, dass sich der emotionale und erzählerische Charakter von ästhetisch motivierter Gestaltung dazu einsetzen lässt, interaktive Anwendungen überzeugender zu gestalten. Bestehende Methodensätze grafischer Dramaturgie wurden hierfür um den neuartigen Formensprache-Ansatz erweitert. Da sich die Gestaltung der Kontur eines grafischen Objekts dazu einsetzen lässt, unterschiedliche emotionale Wirkungen zu transportieren, eignet sie sich als Werkzeug visueller Expressivität. So können beispielsweise runde oder eckige Formen zum Einsatz kommen, um dramaturgische Spannungsverhältnisse nonverbal zu kommunizieren. Der große Mehrwert der Software-Realisierung liegt dabei darin, während des Interaktionsprozesses jederzeit auf Nutzereingaben und sich verändernde Dramaturgie reagieren zu können. Abhängig vom Geschehen kann eine grafische Form jederzeit neu berechnet und an die erzählerische Dramaturgie angepasst werden. Dies lässt sich sowohl als Komponente innerhalb einer Endanwendung als auch als Werkzeug für schnelles Prototypisieren von virtuellen Dramen einsetzen. Verschiedene Anwendungsfälle beleuchten dabei sowohl künstlerisch-experimentelle Blickwinkel, wie sie z.B. bei der Computerspielentwicklung zum Einsatz kommen, als auch Alltagsszenarien wie am Beispiel des Themenfelds Umweltschutz und Energiesparen gezeigt. Es wurde weiterhin die Bedeutung von überzeugender Gestaltung für virtuelle Charaktere diskutiert, die die Lesbarkeit, Verständlichkeit und den Erfolg des Systems unmit-

telbar beeinflussen. Die grundsätzliche Einordnung und Bewertung des ästhetischen Ansatzes geschieht auf Basis der Gegenüberstellung mit den sachlich motivierten Diagrammformen „TimePie“ und „TimeStack“. Sie bieten eine neuartige Möglichkeit zur Darstellung komplexer Datenmengen und können als Ergänzung und Vertiefung zu den bedeutungstransportierenden ästhetischen Grafiken zum Einsatz kommen.

Technisch: Im Laufe der Bearbeitung entstanden wiederverwendbare technische Implementierungen zur Umsetzung und Steuerung der konzipierten Adaptionismethoden. Sowohl die Formensprache-Modelle als auch deren technische Steuerung können dazu eingesetzt werden, dramaturgiesensitive virtuelle Szenen zu realisieren. Die Umsetzung auf Basis von ShapeKeys macht die Anwendung des Konzepts in nahezu allen gängigen 3D-Modellierungswerkzeugen möglich. Zudem zeigt es, dass sich dieses Interpolationsverfahren nicht nur wie bisher üblich für die Animation von Gesichtsausdrücken einsetzen lässt, sondern dass es sich auch für die Realisierung adaptiver visueller Expressivität eignet. Für den konkreten Einsatz als Datenvisualisierung wurde eine Serversoftware zur Erfassung des Energieverbrauchs als abstrahierter Datenanbieter realisiert, an den sich beliebige Visualisierungs-Frontends anbinden lassen. Mehrere Projekte der letzten Jahre belegen die Eignung dieser Komponente als Grundlage für schnelles Prototypisieren und Ausprobieren neuer Visualisierungstechniken. Darunter fallen die im *IT4SE*-Projekt entstandenen Graphen TimePie und TimeStack, sowie die prototypische Umsetzung der adaptiven Bäume. Auch einige studentische Arbeiten wie das Praktikum eines *RISE*-Gaststudenten 2012, in dem mit spielerischen Ansätzen der Energiedatenverarbeitung experimentiert wurde oder eine Bachelorarbeit, in der ein virtueller Charakter den Energieverbrauch widerspiegelt (Fendt, 2014), konnten von der technischen Infrastruktur profitieren. Das im *DYNALearn*-Projekt enthaltene und in Schulen im Einsatz befindliche Modul zur Darstellung virtueller Hamster auf dem Desktop („HamsterLab“) wurde als unabhängige Instanz konstruiert. Es lässt sich durch seine Schnittstellen und offenen Formate nutzen, um Präsentationen mit expressiven Charakteren zu realisieren oder andere Anwendungen mit virtuellen Charakteren auszustatten.

7.2 Ausblick

Ein essentieller Bestandteil persuasiver Technologien ist, sicherzustellen, dass die Komponente nicht in Vergessenheit gerät und auch langfristig im Bewusstsein des Anwenders bleibt, um nachhaltig zu wirken. Weil soziale Medien heute fester Bestandteil im Alltag vieler Menschen sind, liegt es nahe, weiter an der Anbindung dieser Netzwerke zu arbeiten, um deren Popularität und Alltagsintegration zu nutzen. Häufige Belohnungen und Rückmeldungen, die *leicht verständliche Signale* zur Bewertung des eigenen Verhaltens geben, sind wichtig, um in diesem schnelllebigen Umfeld präsent zu bleiben und die Wirksamkeit des Systems zu verstärken. Die Anreize, die durch die heute mögliche Selbstpräsentation, z.B. in Form von Online-Profilen, sowie den daraus folgenden Wettbewerbssituationen entstehen, können ein Hilfsmittel für persuasive Technologien darstellen. Aus der Domäne der Computerspiele kommend, erhalten Belohnungssysteme, wie z.B. Abzeichen („Badges“), mittlerweile auch in andere Anwendungsgebiete Einzug. Durch entsprechendes Verhalten können Teilnehmer diese digitalen Orden „erspielen“ und die entstehende Sammlung persönlicher Errungenschaften zu einem erstrebenswerten Element der Selbstpräsentation werden lassen. Bisher mussten solche Belohnungssysteme noch individuell implementiert werden. Das erschwerte einerseits die Verbreitung und bedeutete andererseits, dass sich das System durch sehr viel Publikationsarbeit und aktive Nutzung überhaupt erst etablieren musste, um eine für die Attraktivität ausschlaggebenden Bedeutung zu gewinnen. Inzwischen bietet jedoch beispielsweise MOZILLA mit „OPEN BADGES“⁶⁴ eine globale, zentral organisierte Plattform an, über die praktisch jeder Anbieter Abzeichen für beliebige Leistungen vergeben kann. Einige Hochschulen in den USA experimentieren bereits mit der Vergabe von solchen digitalen Errungenschaften an ihre Studenten (Raths, 2013). Sollte sich dieses System bewähren, so könnte das Erspielen von grafischen Abzeichen in Zukunft neue Anreize bieten und zur Erhöhung von Motivation und Effektivität eingesetzt werden.

Es wurde innerhalb der einzelnen Kapitel immer wieder gezeigt, welche gedanklichen Prozesse gestalterischen Entscheidungen zugrunde liegen und wie diese die Effizienz der gesamten Inszenierung beeinflussen. Implizit setzt dieser Ansatz den Gedanken voraus, dass das erstrebenswerte Ziel jedes Medienprojekts die bestmögliche⁶⁵ grafische Umsetzung ist. Ein in dieser Arbeit nicht behandelter Ansatz findet sich jedoch im zunutze machen genau dieses Perfektionsgrades. „Die Bäume sehen krank auch noch

⁶⁴ <http://www.openbadges.org/>

⁶⁵ Die Bewertung richte sich hier nach dem gezielten Einsetzen kommunikativer Qualitäten einer Gestaltung, wie zuvor ausgeführt.

ansprechend aus“ ist beispielsweise ein von Teilnehmern des Energie-Baum-Szenarios (siehe Kapitel 5.3ff) geäußertes Problem. Für einen virtuellen Charakter, dessen Gesundheit an die zu motivierenden Anwenderziele gebunden ist, könnte dieser Effekt bis ins Kontraproduktive umkippen. Die Nutzer wären womöglich motiviert, sich besonders ungünstig zu verhalten, um z.B. eine Leidensanimation des Charakters zu sehen, die sie unterhaltsamer finden, als den vitalen Zustand. Zukünftige Untersuchungen könnten sich daher damit beschäftigen, Motivation zu erzeugen, in dem unterschiedliche Stufen von grafischer Qualität zum Einsatz kommen. Statt inhaltlich auf der Ebene von „gesund bis krank“ zu inszenieren, könnte die grafische Attraktivität selbst Stilmittel sein. Je weniger zielgerichtet sich der Anwender verhält, desto langweiliger, unattraktiver und unprofessioneller würde die gestalterische Ausführung erscheinen. Der bewusste Bruch von Gestaltungsregeln könnte sich wiederum in unterschiedlichsten grafischen Kanälen abspielen, so dass sich komplexe Abstufungen realisieren ließen. Zur Wirkung und psychologischen Einordnung von schwachen und starken grafischen Erscheinungen liegen bereits Studien vor (Duke, et al., 2003; Halper, 2003; Halper, et al., 2003b), die Grundlagen für weitere Experimente liefern können.

Des Weiteren lässt sich die konkrete grafische Ausgestaltung an sich zugunsten einer stärkeren Wirkung variieren. In einem prototypischen Szenario des Energiesparsystems äußerten die Teilnehmer u.a., dass sie die verwelkenden Bäume zwar auf ein Problem aufmerksam machen, die persönliche Bindung aber zu schwach ist, um eine Verhaltensänderung auszulösen. Ein Verbesserungsansatz liegt dabei im Einsatz von virtuellen Charakteren: die Simulation eines aktiven Lebewesens könnte mehr Aufmerksamkeit und Verantwortungsbewusstsein auslösen als es mit Pflanzen möglich ist. Einen ersten Ansatz dazu hat S. Fendt exploriert, in dem er einen virtuellen Drachen an die Energiedatenaufzeichnung angebunden hat. Der Drache visualisiert dabei unterschiedliche Verbrauchstendenzen durch unterschiedliche Verhaltensmuster, Bewegungsabläufe, Farbvarianten und Aktivitäten (Abb. 79).

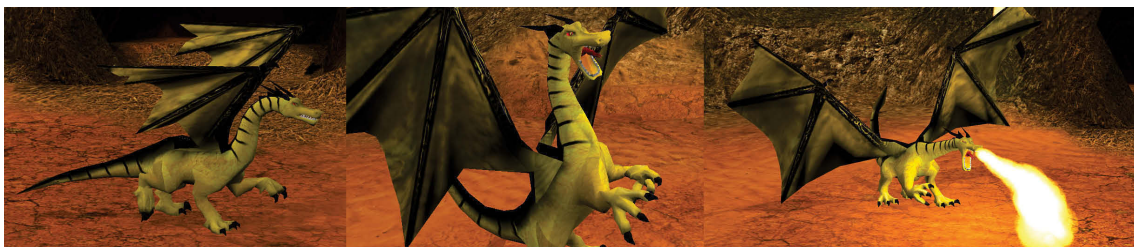


Abb. 79: Virtuelle Charaktere können Messdaten über ästhetisch einprägsame Eigenschaften, wie z.B. unterschiedliche Gemütszustände (links, Mitte) oder Aktivitäten wie Feuerspeien (rechts) visualisieren. Der Eindruck von einem ein Bewusstsein besitzenden Geschöpf könnte eine stärkere Bindung mit dem Anwender bewirken als dies bei den adaptiven Pflanzen der Fall war. [Fendt2013]

Auch das Prinzip adaptiver Formsprache lässt sich auf virtuelle Charaktere anwenden, wie der in Abb. 80 gezeigte Versuch illustriert. Anfang 2014 wurde der *AUTODESK CHARACTER GENERATOR*⁶⁶ vorgestellt, eine Online-Anwendung, mit der sich menschliche Figuren im Webbrowser generieren und anschließend als 3D-Modelldatei herunterladen lassen. Die Funktionsweise des Werkzeugs basiert auf der Auswahl und Überblendung von vorgefertigten Körperpartien, was der technischen Grundlage der Formsprache-Umsetzung entspricht. Während der Generator jedoch die Mischung der Grafikmerkmale abermals nur zur Entwurfszeit anbietet und nach deren Ende ein statisches Modell entsteht, könnte dieses Prinzip im Sinne der dynamischen Formsprache auch als Echtzeitadaption realisiert werden. Der in Abb. 80 mittels des *CHARACTER GENERATORS* realisierten Test-Sequenz liegt das Ziel zugrunde, zwei virtuelle Charaktere zu kombinieren, die sich einerseits so stark ähneln, dass es sich glaubhaft um dieselbe Person handeln könnte, andererseits aber Unterschiede in der grafischen Form bestehen, die so deutlich sind, dass sie sich potentiell dazu eignen, Persönlichkeitsmerkmale zu suggerieren. Entsprechend unterscheiden sich vor allem die Linienführungen in den Gesichtszügen der beiden gewählten Modelle „David“ und „Jamal“. So stehen sich kantige und runde Formen an den Enden des Formenspektrums gegenüber. Zwischenstufen sind durch Interpolation möglich, wodurch sich das Aussehen des Charakters subtil verändern kann – z.B. aufgrund von dynamischen Faktoren wie die Handlung beeinflussenden Nutzereingaben.

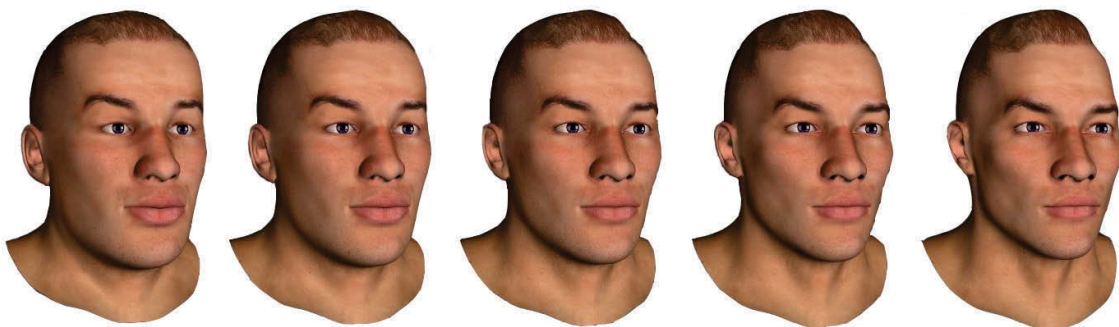


Abb. 80: Anwendung des Formsprache-Prinzips auf einen menschlichen virtuellen Charakter. Runde Züge wirken kraftvoller und wärmer (links), während kantige Gesichtsformen eine zwielichtige und kühle Erscheinung (rechts) unterstützen. Eine subtile, z.B. spielverlaufsabhängige Variation lässt sich wie schon bei den adaptiven Bäumen durch gewichtete Interpolation der Extreme bewerkstelligen.

⁶⁶ <https://charactergenerator.autodesk.com/>

Um den Formsprache-Ansatz selbst zu erweitern, können weitere Trends und technische Möglichkeiten untersucht werden. Der Einsatz stereoskopischer Darstellungssysteme ermöglicht beispielsweise die räumliche Wahrnehmung von Plastizität. Diese eignet sich potentiell dazu, Formen deutlicher wahrzunehmen, zumal sich diese zusätzlich in die Tiefe erstrecken. Ähnlich wie die zuvor beschriebene Variation der grafischen Qualität an sich, lässt sich zudem auch das „Tiefenbudget“ (Ostermann, 2012; Candan, et al., 2011) als visuelle Ausdrucksgröße einsetzen. Besonders unattraktive Ergebnisse könnten demnach flach und platt, besonders attraktive dagegen volumetrisch und voll präsentiert werden. Eine momentane Herausforderung stereoskopischer Systeme liegt allerdings in der Überwindung der starken Geräteabhängigkeit. Bis auf einige erste autostereoskopische Monitore ist für die meisten 3D-Systeme noch immer das Tragen technischer Hilfsmittel wie z.B. einer speziellen Brille nötig. Dies erschwert den Einsatz als Persuasionsauslöser in Alltagsszenarios derzeit noch erheblich. Neuere Forschungen entwickeln sich zudem in die Richtung den Tastsinn ansprechende Rückkopplungen zu realisieren (Hoshi, et al., 2010; Sinclair, et al., 2014). Wenn Oberflächen ihre haptischen Eigenschaften softwaregesteuert verändern können, ließe sich dies prinzipiell auch einsetzen, um eine dreidimensionale Form zu realisieren. Mit dieser ließe sich adaptive Formsprache buchstäblich spürbar machen, ein Effekt, wie er bisher vorwiegend nur für sehbehinderte Anwender zum Einsatz kam (Gual, et al., 2012).

Begrenzungen der adaptiven Formsprache. Das Ziel des Formsprache-Konzepts war es, die Konsistenz interaktiven Dramen durch eine dynamische Version ästhetischer, symbolhafter Visualisierung von Wertigkeiten zu erhöhen. Dies wurde insofern erreicht, als dass grundsätzliche konzeptuelle wie technische Wege zur Realisierung aufgezeigt und die Machbarkeit demonstriert werden konnte. Grenzen der Formsprache tauchen vor allem hinsichtlich der Formalisierbarkeit von Symbolik auf. Weil komplexe Bedeutungen jenseits einer simplen gut-böse-Skala auf subjektiven und soziokulturellen Faktoren beruhen, ist die genaue Abbildung von Form und Aussage schwer zu verallgemeinern. Es stellt sich daher die Frage, wie weit mit Formsprache gestaltete Produkte internationalisierbar und zwischen Anwendungskontexten und Nutzergruppen übertragbar sind. Neben dem ohnehin schon erhöhten Produktionsaufwand, den der Ansatz an sich erfordert, entstünden weitere, zielgruppenabhängige Anpassungen, die Fragen der Wirtschaftlichkeit aufwerfen. Hier könnte sich jedoch der Ansatz als gewinnbringend erweisen, Formvarianten mittels Softwarealgorithmen zu generieren und so Erstellungsprozesse zu rationalisieren.

8. Anhang A – Visualisierung zweidimensionaler Bewegungsmerkmale

Bei der Charakter-Animation können mehrere gestalterische Parameter, wie z.B. die Bewegungsgeschwindigkeit oder auch die Größe des Gestenraums dazu eingesetzt werden, um die Persönlichkeit der virtuellen Figur nonverbal zu transportieren. Die Bewertung und Prüfung der eigenen Arbeit durch den Gestalter, wie auch die Veranschaulichung dieser bewusst gesetzten Stellgrößen gegenüber Dritten, werden durch zwei Eigenschaften erschwert. Einerseits hängt die Bewegungswahrnehmung von subjektiven Faktoren wie etwa der Tagesform, fachlichen Vorkenntnissen oder unterschiedlichen Persönlichkeiten ab. Andererseits findet Animation naturgemäß über einen zeitlichen Verlauf statt, was das Wahrnehmen und Bewerten des Ablaufs in sich und das Vergleichen mehrerer Sequenzen miteinander erschwert. Sollen Animationscharakteristika in einem statischen Medium gezeigt werden, wie z.B. dem vorliegenden gedruckten Dokument, so könnte dies auf herkömmlichem Weg nur über symbolische Illustrationen oder den Abdruck aller Einzelbilder geschehen. Eine Illustration (wie z.B. Abb. 81) hat den Nachteil, dass sie stark abstrahiert und mit grafischen Hilfsmitteln wie Pfeilen oder Farbflächen zwar Bewegungsmuster erklären kann, diese aber ohne direkten Bezug zur tatsächlichen Animationsgrafik stehen. Werden alle Sequenzschritte gedruckt, so entstehen vor allem bei komplexeren Animationen und hohen Bildraten schnell unüberschaubare Mengen an Einzelbildern, die sich nur sehr schwer ohne weitere Hilfsmittel mit anderen Sequenzen vergleichen lassen.



Abb. 81: In diesem Beispiel wurde die Gestenausdehnung mittels einer Überlagerung zweier Animationsbilder und einem farbigen Kreis illustriert. Zwar transportiert die Darstellung die Aussage, dass sich die Gestenräume zwischen den Charakteren unterscheiden, doch ist sie abstrahiert und ungenau.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Verfahren entwickelt, das die Einzelbilder einer Animation miteinander verrechnet. Die entstehende Grafik drückt sowohl räumliche als auch zeitliche Charakteristika der Bewegung aus, die mittels Abbildungen der rechnerischen Werte auf Farbbänder grafisch hervorgehoben werden können. Für virtuelle Charaktere erscheinen die bewegungsrelevanten Farbflächen üblicherweise um den Körper herum, was als Form einer Aura an die in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts in Wissenschaft aber auch Esoterik populäre Kirlianfotografie erinnert.

Das hier implementierte Verfahren basiert im Wesentlichen auf einer Zählung der genutzten Pixel entlang der Abspieldauer. Da das Ergebnis auf gemessenen Daten besteht und letztlich ein Werteraster darstellt, ist eine objektivere Bewertung als bei der Beurteilung nach Augenmaß möglich. Zudem wird die Zeitkomponente aggregiert, so dass sich der Bewegungsablauf in einem einzelnen Bild ausdrücken lässt. Auch das Vergleichen von verschiedenen Animationen wird durch die schnellere Lesbarkeit vereinfacht, in dem die Ergebnisse verschiedener Sequenzen schicht nebeneinander oder sogar überlagert angeordnet werden können.

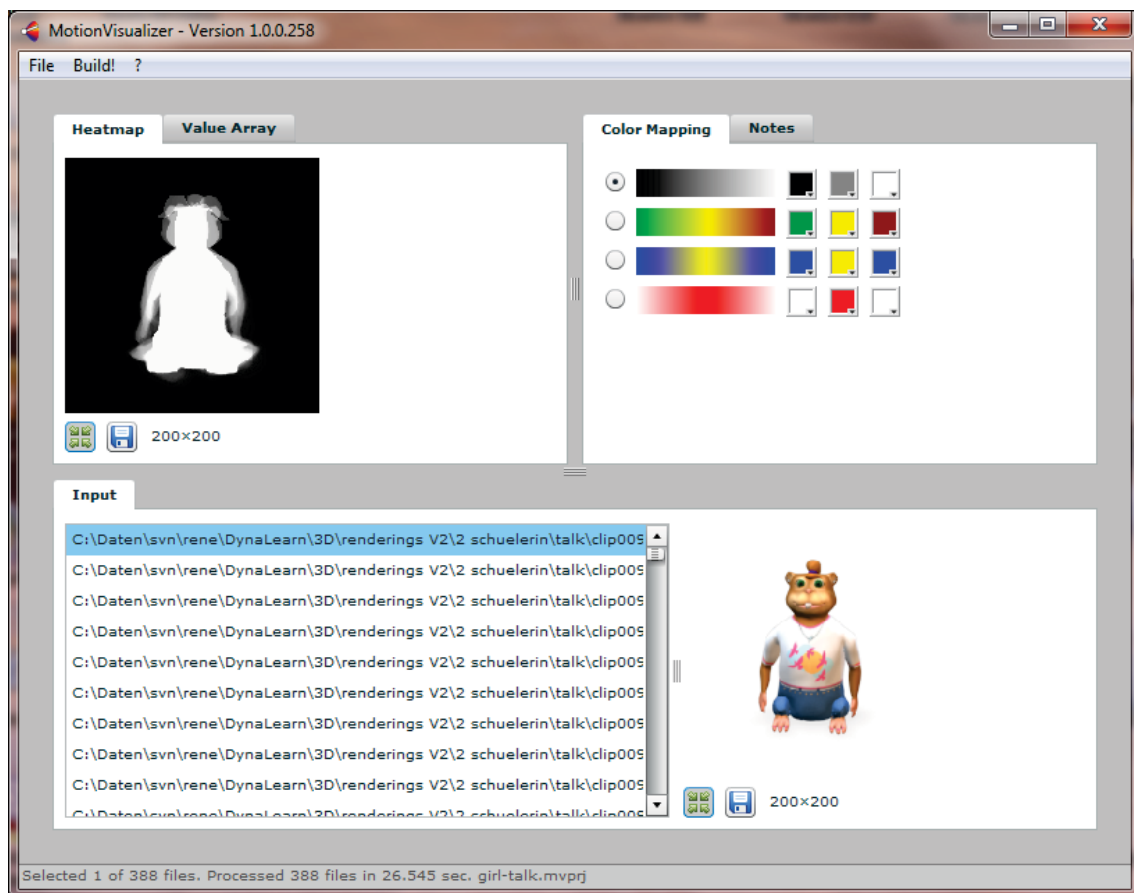


Abb. 82: Grafische Benutzeroberfläche einer prototypischen Umsetzung der Bewegungsaura-Generierung.

Eine prototypische Implementierung des Verfahrens erfolgte mit dem *ADOBE FLEX*- und *AIR*-SDK, das durch seine technische Basis ein schnelles Austesten von grafiklastigen Multimedia-Anwendungen ermöglicht. Das in Abb. 82 dargestellte Fenster zeigt die Benutzeroberfläche der entwickelten Software.

Der **Ablauf** einer Bewegungsvisualisierung erfolgt dabei in drei Schritten:

1. Eine beliebige Anzahl von Einzelbildern wird als Quellmaterial angegeben.
2. Die Verrechnung dieser Bilder wird einmal ausgeführt.
3. Das Ergebnis wird auf eine Farbskalas abgebildet und somit sichtbar gemacht.

Das zugrunde liegende **Rechenverfahren** besteht dabei aus folgenden Schritten:

1. Ein Ausgabepuffer wird als zweidimensionales Array in der Größe der Ausmaße des ersten Quellbildes erstellt. Da als Endergebnis ohnehin ein Bild angestrebt wird, kann ein als zweidimensionales Integer-Array interpretiertes Bitmap-Objekt zum Einsatz kommen.
2. Für jedes Bild (Abb. 83: A,B,C) wird für jedes Pixel überprüft, ob es transparent oder (teil-)opak ist. Für jeden Pixel, der nicht vollständig transparent ist, wird der Zähler im Ausgabepuffer inkrementiert (Abb. 83: D,E,F).
3. Nach Durchlaufen aller Quellbilder enthält der Puffer für jede Bildkoordinate einen Wert, der die Nutzungshäufigkeit in der gesamten Animation wiedergibt (Abb. 83: F). Da ein Bitmap-Objekt verwendet wurde, lässt sich der Puffer zwar sofort grafisch darstellen, jedoch entsteht durch die Interpretation der eindimensionalen Zähler als dreidimensionale RGB-Werte zunächst nur ein dunkles, wenig aussagekräftiges Bild (Abb. 84 links).
4. Der maximale Ergebniswert hängt von der Anzahl der Einzelbilder ab⁶⁷, so dass es erforderlich ist, die relativen Werte zunächst auf eine absolute Prozentkala umzurechnen (Abb. 83: G, H). Der höchste Ergebniswert liegt dann bei 100%.

⁶⁷ Die Wertobergrenze und somit die theoretische Höchstzahl von Einzelbildern entspricht dem Fassungsvermögen des ActionScript-Datentyps `uint` (vorzeichenlose 32-Bit-Ganzzahl), der in Adobes Actionscript Referenzhandbuch(Adobe Systems Inc., 2011) mit 4.294.967.295 (2^{32-1}) angegeben wird.

5. Eine brauchbare und gut lesbare Bilddarstellung erhält man im abschließenden Schritt durch Abbildung der Prozentwerte auf eine Farbskala (Abb. 83: I). Bei einer einfachen Umsetzung auf einen Gradient von Schwarz (0%) zu Weiß (100%) ist das Ergebnis als Graustufenbild bereits gut lesbar (Abb. 84 rechts).

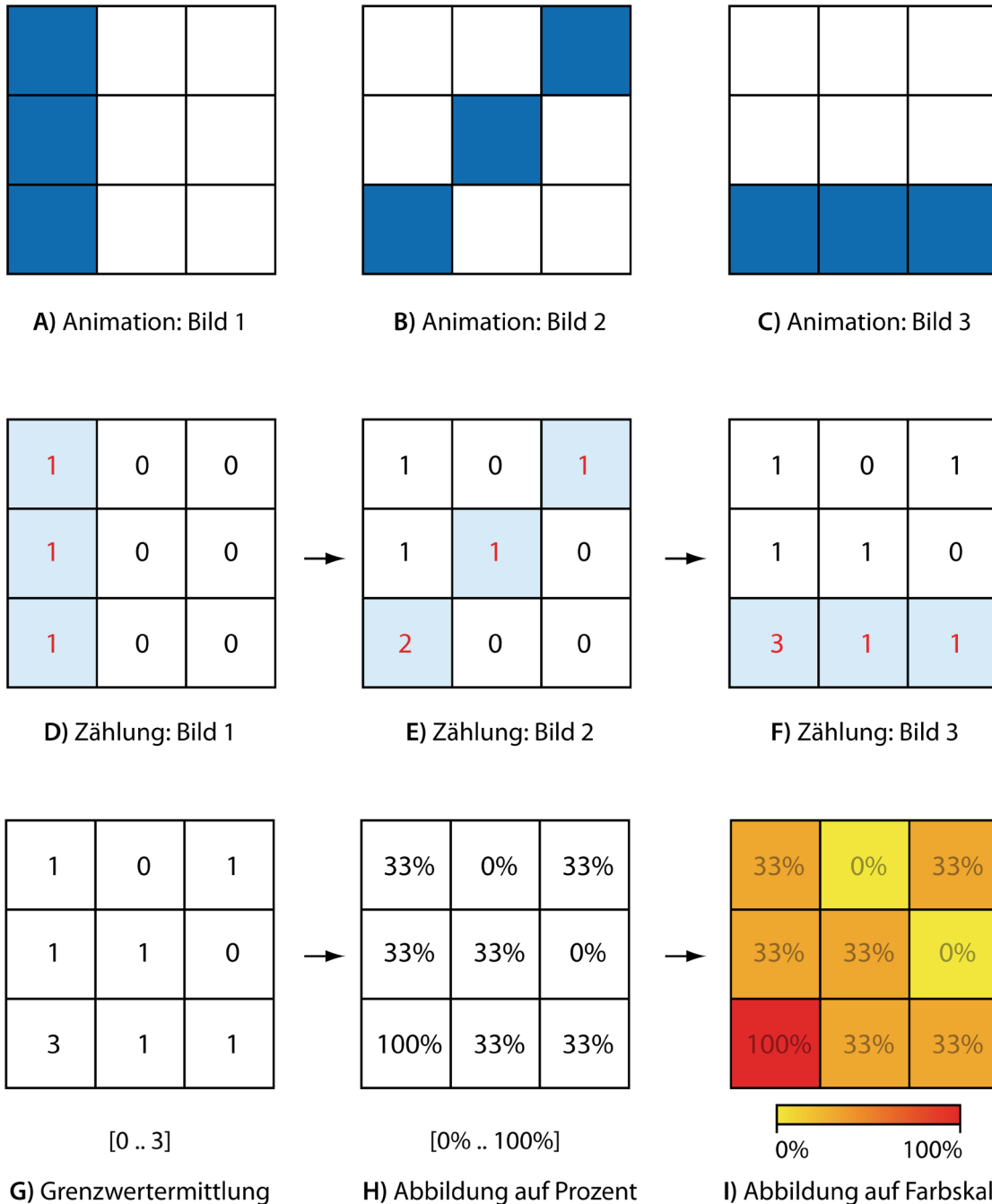


Abb. 83: Verfahren zur Errechnung einer Bewegungsaura. A,B,C: Einzelbilder der Animation. D,E,F: Inkrementieren der Pixelzähler entlang aller Einzelbilder. G: Identifikation der Wertgrenzen. H: Umrechnung in Prozentwerte. I: Färben jedes Pixels durch Abbildung auf eine Farbskala.

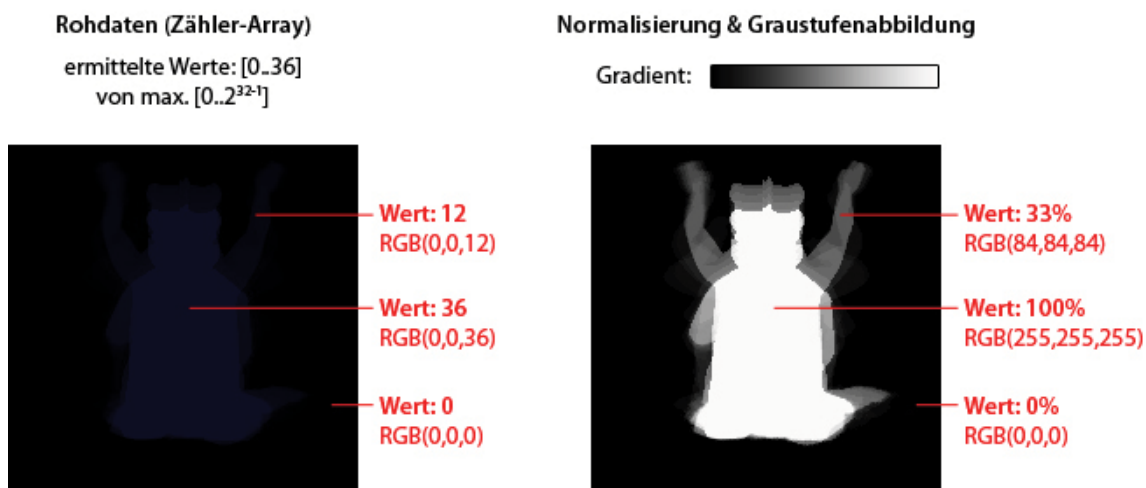


Abb. 84: Beispiel-Ergebnisse für die Bewegungsanalyse der DynaLearn-Animation "begeistertes Zustimmung" des Schüler-Hamsters. Links: Weil die Animation aus nur 36 Einzelbildern besteht, liegt der maximale Ergebniswert für in jedem Bild belegte Pixel bei 36. Als RGB-Bild umgesetzt, erscheint dieser Wert in Dunkelblau, was mit bloßem Auge kaum erkennbar ist. Rechts: Nach der Normalisierung der Rohdaten zu einer Prozentdarstellung und Abbildung dieser auf einen Farbgradienten verschieben sich die Werte in den sichtbaren Bereich.

Aus der Abbildung auf eine Graustufenskala wie in Abb. 84 gezeigt, lässt sich schnell ablesen, welche Bereiche sehr häufig in der Animation belegt werden (weiß), welche Zonen nur vorübergehend für einzelne Bewegungen zum Einsatz kommen (Graustufen) und welche Pixel komplett ungenutzt bleiben (schwarz). Für aussagekräftige Ergebnisse kann diese Darstellung durch Anwendung anderer Farben noch verbessert werden. Im Beispiel der *DYNALearn*-Hamster soll das hier vorgestellte Verfahren klären, inwieweit sich Gestenräume der Charaktere unterscheiden. In der Graustufendarstellung wirkt der weiße Bereich besonders dominant, jedoch ist er für die Gesten kaum relevant, weil er die statischen Körperbereiche repräsentiert. Durch die Darstellung auf weißem Papier fällt zudem der schwarze Hintergrund sehr stark ins Gewicht, der als visueller Begrenzungsrahmen das Bild einengt, obwohl er in seiner Bedeutung als leerer/ungenutzter Bereich für die Bewertung ebenfalls zweitrangig ist. Der eigentlich interessante Teil zur Ermittlung des Gestenvolumens liegt in den Übergangswerten zwischen diesen Maxima. Folglich ist ein Ziel der Darstellungsverbesserung, die komplett schwarzen und komplett weißen Bereiche in ihrer visuellen Präsenz abzuschwächen und die Aufmerksamkeit des Betrachters möglichst stark auf die Zwischenstufen zu lenken.

Abb. 85 zeigt einige Beispiele in denen die grafische Aussagekraft des Ergebnisbildes durch Abbildung auf verschiedene Farbverläufe beeinflusst wird. Der links gezeigte

Übergang zweier Komplementärfarben führt zu einer Erscheinung, die von Temperaturlisten bekannt ist. Aktive („heiße“) Bereiche erscheinen Rot, passive („kalte“) Bereiche grün. Stellt man die Maxima des Gradienten auf den gleichen Farbton ein (Abb. 85 Mitte), so entsteht der Eindruck, dass es sich bei dieser Farbe um eine Hintergrundfarbe handelt, die als einheitliche Fläche wahrgenommen wird. Infolge scheinen die auf eine Kontrastfarbe abgebildeten Mittelwerte herauszutreten und wirken als isolierte Information. Um diesen Effekt des Ausblendens der Maximalwerte noch weiter zu erhöhen, kann die gewählte Randfarbe der des umgebenden Mediums, also etwa der Papierfarbe, angepasst werden. Im in Abb. 85 rechts gezeigten Ergebnis ermöglicht dieser Schritt die Isolation der für die Gestenbewertung relevanten Zwischenwerte der Animation.



Abb. 85: Durch Abbildung auf verschiedene Gradienten lassen sich bestimmte Wertebereiche akzentuieren. Links: Aktivitätsbetonung ähnlich einer Temperaturliste. Mitte: Entstehen scheinbar zusammengehöriger Flächen und somit vermeintlicher Transparenz durch gleichfarbige Maxima. Rechts: Isolieren der während der Animation temporär genutzten Bildbereiche durch Gleichsetzen von Gradienten-Maxima und Papierfarbe.

Bewertung der Ergebnisse

Das hier beschriebene Verfahren kann genutzt werden, um den Verlauf und die räumliche Ausdehnung von Bewegungen eines Objekts oder virtuellen Charakters sichtbar zu machen. Im Beispiel der oben beschriebenen Hervorhebung der Mitteltöne durch Ausblenden der Maxima, können vereinzelt auftretende, intensive Farbbereiche auf wenige, räumlich eng verlaufende und/oder langsame Bewegungen hindeuten. Große helle Farbflächen sind hingegen Indizien für zahlreiche, ausgedehnte und/oder schnelle Bewegungen. In Abb. 86 ist links das Ergebnis der Sequenz "Erzählgeste mit Laserpointer Richtung rechts oben" zu sehen, in der lediglich eine Detailgeste der Hand

des Charakters stattfindet. Dies spiegelt sich in wenigen, kleinen, gehäuftten Formen wieder. Im Beispiel der „Übergangsbewegung vom Stand in die Laufpose“, bei dem sich die gesamte Körperhaltung verändert, erscheinen dagegen große weitläufige Hervorhebungen.



Abb. 86: Beispiele für Ergebnismuster. Kleine Farbflächen spiegeln kleine Bewegungen (links), große Flächen zeigen intensive Bewegungen (rechts).

Indem man die Position der Papier- und Hervorhebungsfarben auf der Farbskala verschiebt, lassen sich unterschiedliche Ergebnisse und Aussagen erzielen. So kann beispielsweise visualisiert werden, in welchen Bildbereichen sich überhaupt Bewegungen abspielen, in welchen Zonen wenig Veränderung stattfindet oder welche Pixel sehr selten genutzt werden (Abb. 87). Diese Erkenntnisse können die Grundlage für technische wie gestalterische Optimierungen sein. Ungenutzte oder statische Pixel deuten beispielsweise auf redundante Datenmengen wieder, was eine Kompressionsgrundlage darstellen kann. In der Gestaltungstheorie gilt zudem die Expressivität der Silhouette als Qualitätsmerkmal der grafischen Erzählfkraft (Thomas, et al., 1981 S. 56). Anhand des Beispiels in Abb. 88 lässt sich erkennen, dass die Lesbarkeit einer Pose von Blickwinkel und Körperhaltung abhängt. Durch Ausblenden von Inhalten und Details wird die äußere Form zum Indikator für die Inszenierungsqualität. Gute Posen und Bewegungen zeichnen sich u.a. dadurch aus, dass sie auch bei reiner Betrachtung der Kontur lesbar sind. Da das vorgestellte Verfahren der Gradientenabbildung mit Umrissen arbeitet, lässt es sich für eine solche Silhouetten-Bewertung einsetzen. Entstehen beispielsweise kaum Abstufungen zwischen den niemals und den immer genutzten Pixeln, so kann das auf schlecht lesbare Bewegungen hinweisen, die zugunsten einer besseren Verständlichkeit entsprechend überarbeitet werden sollten.

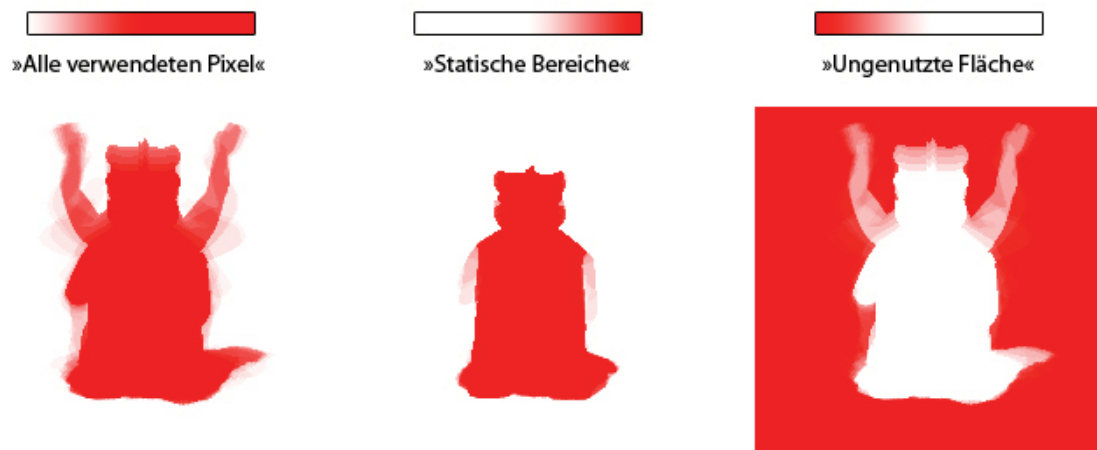


Abb. 87: Durch Verschieben der Markierungs- und Papierfarben auf dem Gradienten lassen sich unterschiedliche Ergebnisse erzielen, wie z.B. das Hervorheben (jeweils rot) von generell in der Animation benutzten Pixeln (links), Bereichen mit wenig Veränderung während der Animation (Mitte) oder wenig benutzten Flächen (rechts).

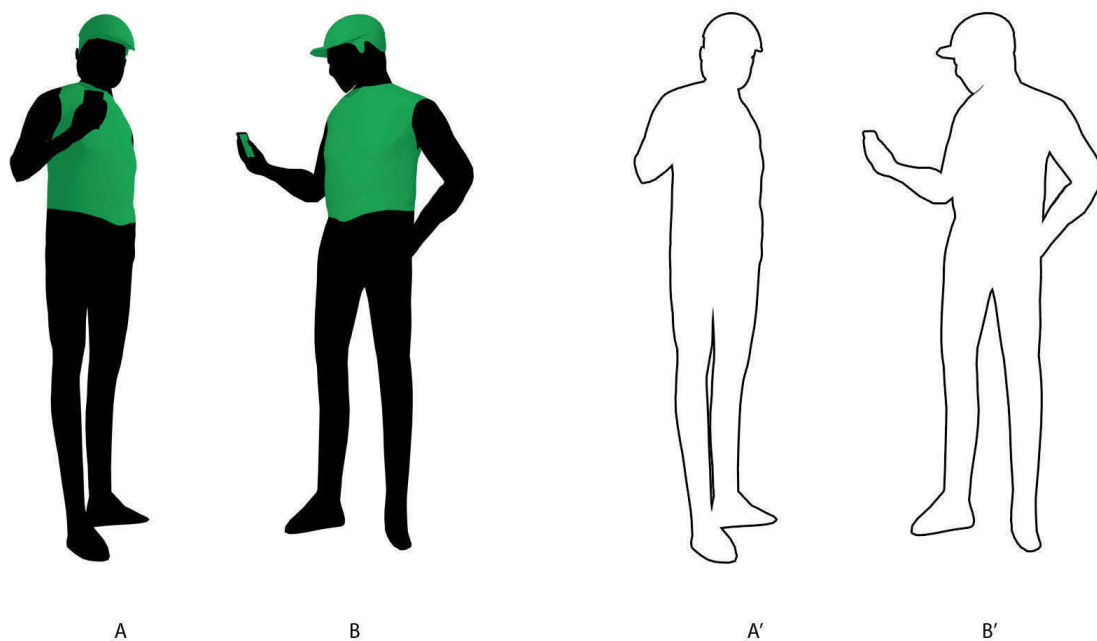


Abb. 88: Die Silhouette einer Figur hat Einfluss auf die Lesbarkeit der Inszenierung (Thomas, et al., 1981). Obwohl A und B die selbe Pose zeigen, ist B schneller lesbar und leichter verständlich. Dies wird besonders deutlich, wenn man die Kontur isoliert: Die in A' zu sehende Pose selbst ist kaum zu identifizieren, während die Silhouette B' erahnen lässt, welcher Inhalt ausgedrückt wird.

Grenzen des Verfahrens

Die Errechnung einer Bewegungsaura wurde in der vorliegenden Arbeit eingesetzt, um Unterschiede in der Bewegungscharakteristik der virtuellen Charaktere darzustellen, die wiederum helfen, verschiedene synthetische Persönlichkeiten zu kommunizieren. Jedoch unterliegt das Verfahren einigen Konditionen und Begrenzungen, die die möglichen Anwendungsfälle einschränken können:

- **Die Schwellwertdefinition basiert auf einer einfachen binären Logik.** Da das Bildmaterial der Hamster-Animationen einen Alphakanal aufweist, werden schlicht alle Pixel gezählt, deren Deckkraft ungleich Null ist. Das bedeutet aber auch, dass z.B. der halbtransparente Schatten des Charakters als Animationsfläche gezählt wird, obwohl er kaum bewusst wahrgenommen wird. Auch ist es in der bestehenden Implementierung nicht möglich, Vollbilder (z.B. Filmausschnitte) zu bewerten, weil dort alle Pixel gefüllt sind. Das Verfahren muss für derartige Anwendungsfälle daher verfeinert und das Zählkriterium für die Pixel entsprechend komplexer implementiert werden.
- **Überlagerungen lassen sich nicht erkennen.** Zwar liegt die Aussagekraft vieler Bewegungen in der Silhouette, doch ist es vorstellbar, dass sich einige Abläufe gezielt körpernah abspielen sollen. Für einen introvertierten Charakter könnten ausladende Gesten beispielsweise unpassend wirken, so dass er seine Hände nur in kleinen Ausdehnungen vor dem Körper bewegt. Weil sich dabei die Silhouette aber kaum verändert, erscheint die Aura sehr klein, was fälschlicherweise auf Bewegungsarmut hindeutet. Das Problem lässt sich technisch lösen, in dem die Schwellwertfunktion nicht nur die Pixel des Einzelbildes bewertet, sondern auch Veränderungen zum vorherigen Bild berücksichtigt.
- **Nur Pixelbilder können analysiert werden.** Die Bewertung von beispielsweise Echtzeit-3D-Modellen erfordert die Implementierung eines Render-Schritts, der die zu bewertende Szene in ein Pixelbild rastert.
- **Alle Einzelbilder müssen die gleichen Ausmaße aufweisen.** Andernfalls fehlen Vergleichspixel an den Bildrändern. Sollen, z.B. aus Kompressionsgründen, unterschiedlich große Bilder unterstützt werden, so muss der benötigte Versatz für jedes Bild gegeben sein.
- **In langen Sequenzen gehen Details schnell verloren.** Da sich das errechnete Ergebnis auf die Animationsdauer bezieht, können Bewegungsdetails verloren

gehen, wenn sie nur in kurzen Zeiträumen auftreten. Die Animation nimmt dann einen so kleinen Teil der Gesamtzeit ein, dass ihre Farbwerte in der Ausgabegrafik nah an der Farbe des Minimums liegen und somit sehr blass erscheinen. Lässt man beispielsweise alle Animationen eines *DYNALearn*-Hamsters auf einmal analysieren, werden temporäre Gesten wie etwa Armbewegungen von den sequenzübergreifend weitestgehend statischen Körperbereichen geradezu verdrängt (Abb. 89). Dieses Problem lässt sich durch entsprechend kurz gewählte Ausschnitte, die lediglich die zu bewertende Bewegung enthalten, neutralisieren.

- **Das analysierte Zeitfenster ist statisch und in seiner Größe begrenzt.** Weil das Verfahren inkrementell aufgebaut ist, kann die Implementierung in der vorliegenden Form nur auf eine festgelegte Sequenz angewendet werden und beispielsweise nicht permanent in Echtzeit ablaufen. In erster Linie träte das Problem des Detailverlusts mit fortschreitender Laufzeit auf, so dass statt dessen ein eingeschränktes Zeitfenster, z.B. über die letzten x Sekunden, zum Vergleich herangezogen werden müsste. Hierfür ist allerdings die Haltung und Auswertung historischer Daten (nämlich aller vergangenen Frames im Zeitfenster) erforderlich. Theoretisch würde zudem der verfügbare Zählerpuffer nach 2^{32-1} Bildern überlaufen. Bei einer Bildwiederholfrequenz von 60 fps würde dies aber frühestens nach über 2 Jahren Dauerbetrieb eintreten⁶⁸, was das Problem in der Praxis irrelevant erscheinen lassen dürfte.



Abb. 89: Ergebnis der Verrechnung aller Animationen des Schüler-Hamsters. Entscheidende Gesten wie z.B. das Heben der Hand werden fast unsichtbar, weil diese Einzelbilder nur einen kleinen Bruchteil der gesamten Animation (bestehend aus 1385 Bildern) ausmachen.

⁶⁸ 4.294.967.296 Zählungen pro Pixel entsprechen bei 60fps ca.: 71.582.788 Sekunden = 1.193.046 Minuten = 19.884 Stunden = 829 Tage = 2,3 Jahre

9. Anhang B – Datenblätter

9.1 Tabelle: Persuasive Projekte mit Energiesparzielen

Nr.	Authors	Title	Year	Light	Heat	Design	Electr.	Water	Extra Integ.	Display Monitor	Haptic	App/SW	Games Toys	Ambient Persuas.
1	Interactive Institute, Sweden	Static! Energy as design material	ca. 2005											
2	Ernevi, Jacobs, Mazé, Müller, Redström, Worbin (Sweden)	Energy Curtain (express energy behaviour with collected sun light)	ca. 2006											
3	Gustafsson & Gyllenswärd (Sweden)	The Element (Heater w. activity visualization)	ca. 2007	x	x		x		E					
4	Ernevi, Palm, Redström (Sweden)	Erratic Appliances (devices stop working when too much energy is consumed)	ca. 2008				x		E/I					
5	Lagerkvist, Lancken, Lindgren, Sävström (Sweden)	Disappearing-Pattern Tiles (long shower = undecorated tiles)	ca. 2009			x		x	I					x
6	S. Lagerkvist, C. von der Lancken, A. Lindgren, K. Sävström, S. Stattin (Sweden)	Appearing pattern wallpaper (sun) light loads into luminescent pattern on wallpaper)	ca. 2010	x		x			I					x
7	Allen, Ernevi, Jacobs, Löfgren (Sweden)	Flow (TV feedback/info programm on household water consumption)	ca. 2011				x			x				
8	Lagerkvist, Lancken, Lindgren, Sävström, Nordahl (Sweden)	Flower Lamp (lamp reshapes due to energy consumption)	ca. 2012	x	x	x	x		I					x
9	Ernevi, Jacobs, Löfgren, Danielsson (Sweden)	Free Energy (creating energy by using a winder)	ca. 2013				x		E					
10	Lagerkvist, Lancken, Lindgren, Sävström (Sweden)	Heat sensitive lamp (Lamp material/design shapes when turning on first time)	ca. 2014		x	x	x		I					x
11	Gustafsson, Gyllenswärd (Sweden)	Energy cord (energy makes cord glow, energy becomes visual design)	ca. 2015	x		x	x		I					x
12	DIY Kyoto (commercial)	Watson (Watt-Display with ambient light, Energy Sensors)	ca. 2013	x			x		E	x				
13	Ambient Devices Inc.	Ambient Devices (EnergyOrb, Displays and Ambient Lights)	ca. 2007	x		x	x		E	x				
14	T. Wang, I. Wang, J. Lee, Y. Lee	Saverclip (Clip visualizes the energy flow)	ca. 2007				x			x				
15	M. Meshulam, Z. Dwiell	Enerjar (Energy consumption display inside a jar)	2008				x		E	x				

Nr.	Authors	Title	Year	Light	Heat	Design	Electr.	Water	Extra Integ.	Display Monitor	Haptic	App/SW	Games Toys	Ambient Persuas.
16	S. Raaf (Austria)	Translator II: Grower (rover moves to walls and draws "grass" according to CO ₂ level of room air)	2004			x			E				x	(x)
17	DESIGNNORD (Denmark)	FlowerPod (showing energy consumption)	2008			x	x		E				x	x
18	T. Cola (Italy)	Eco Drop Shower (Shower floor that becomes uncomfortable when becoming wet too long)	2008			x		x	I		x			x
19	N. Reed (USA)	Regenerate (Virtual Tree visualizes energy consumption, travel methods, assessment of bought goods)	2008			x	x		E	x		x		
20	M. Zastawny, M. Ourasnah, T. Dooley, P. Byar, E. Soffer, M. Turpault (USA)	Power Hog (pay-for-energy, make children aware of energy usage)	2009			x	x		E				x	
21	L. Fried, Adafruit Industries & P. Torrone, MAKE magazine	Tweet-a-Watt, A twittering power meter (show your energy consumption to Twitter friends)	2009				x		E	x			x	
22	V. Gerkens (Belgium)	Blight (Window blinds are charged during the day and work as light emitter in the evening)	2009	x		x			I					x
23	R. Turner (UK)	Standby Monster (turns the appearance of any standby light into glowing eyes)	2009	x		x	x		I				x	x
24	P. Russo & B. Wypich, (Stanford University, USA)	SmartSwitch (light switch giving tactile feedback on how much energy is used)	2009				x		I		x			x
25	N. Brunstein ?	Jamy Toaster (toasts the weather forecast on bread) Example for utilizing a daily life object...	2012						E	x			x	
26	Loove Broms	AWARE Clock (Show energy 'histogram' on a clock device)	ca. 2010			x	x		E	x			x	
27	Loove Broms	AWARE Puzzle Switch (high contrast, easy to read light switch, utilizing human's sense for order to motivate to switch lights off)	ca. 2010	x		x	x		I					x
28	Loove Broms	AWARE Handle (sharp edged handle that is more comfortable to be switched off than on)	ca. 2010		x				I		x			x
29	Loove Broms	ShareAWARE Light (bulbs that share a limited total amount of light; one brighter makes others darker)	ca. 2010	x			x		E				x	
30	Loove Broms	AWARE Laundry Lamp (reuse the heat emitted by light bulbs for drying)	ca. 2010	x	x	x	x		E/I					x

Nr.	Authors	Title	Year	Light	Heat	Design	Electr.	Water	Extra Integ.	Display Monitor	Haptic	App/SW	Games Toys	Ambient Persuas.
31	Loove Broms	Energy Plant (Electronic Plant built from energy consumption profile)	ca. 2011				x		E	(x)			x	x
32	Loove Broms and Li Jönsson	Watt Lite (Light projections show amount of consumed energy)	2010	x		x	x		E	(x)			x	
33	R. Bühling, M. Obaid S. Hammer, E. André (HCM, Germany / Hitlab NZ)	Energy Tree (Virtual garden gets healthy or sick depending on Energy consumption). Subprojects: - Girlsday: Score Visualization + Competition in Energy Treasure Hunt Quiz Event - CurrentCost: On-Screen feedback for realtime energy data - Facebook: Integrated challenges and online competition (discontinued) - Publicity: Show competitor's trees and/or use public displays (planned)	2012			x	x			(x)		x	x	
34	S. Fendt, R. Bühling (HCM, Germany)	Energy Pet [in progress] (Bachelor Thesis, Virtual Pet visualizes values, i.e. Environmental Data)	2013			x	x			(x)		x	x	
35	B. Endrass, S. Hammer (HCM, Germany)	Energy Feedback [in progress] (2 Master Theses, Feedback and recommendations on mobile devices)	2013							x		x		
36	Gustafsson et al.	Energy-Game for Mobile Phone using home energy consumption. Pet mode: living space of a pet changes towards good or bad. Pvp challenge mode. Sustainable change in energy behaviour.	2009			x	x			x		x	x	
37	Mankoff et. al	Energy consumption integrated into MySpace Profile	2007									x	x	
38	Foster et al.	Integration into Facebook app; Success in social encouragement and challenge.	2010									x	x	
39	Petkov et al.	Mobile Game "Energy Wiz"	2011				x					x		
40	Kuznetsov and Paulos	"UpStream" (2 displays in shower: numeric water consumption and traffic light turning from green to yellow to red showing consumption. People stated that their behaviour did not change, but actually it did.	2010			x		x	E	(x)				x
41	Inventables Inc.	Heat sensitive glass tiles	2012		x	x			I					x
42	Laschke et al.	"Shower Calendar" (color dots show water consumption, esp. also over time/history)	2011			x		x	E/I	x		x		x
Count:				12	6	23	27	4	E:19, I:15	12	3	9	15	17

9.2 Tabelle: Musterdaten TimePie und TimeStack

		00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
■	Sensor 1	10%	20%	40%	30%	45%	20%	50%	10%	15%	20%	45%	15%
■	Sensor 2	25%	20%	30%	40%	10%	40%	20%	40%	10%	25%	15%	25%
■	Sensor 3	45%	10%	10%	20%	40%	30%	20%	30%	35%	40%	15%	40%
■	Sensor 4	20%	50%	20%	10%	5%	10%	10%	20%	40%	15%	25%	20%

Die Anzahl der Zeilen/Sensoren definiert die Anzahl der Ringe insgesamt. *Spalten* repräsentieren Zeitfenster und summieren sich über die Zeilen hinweg immer auf 100%, da sie die Radian pro Segment definieren.

9.3 Anlagen zur Ästhetik-Evaluation

9.3.1 Tabelle: AttrakDiff-Wortpaare

Der *ATTRAKDIFF*⁶⁹-Fragebogen zeigt eine Tabelle mit Wortpaaren, die gegensätzliche Eindrücke darstellen. Über eine 7-Punkt-Likert-Skala gibt der Teilnehmer an, zu welchem Begriff er hinsichtlich der Wirkung eines Produktes tendiert. Die Wortpaare werden in drei Schritten bzw. Gruppen angezeigt.

Gruppe 1

menschlich	technisch
isolierend	verbindend
angenehm	unangenehm
originell	konventionell
einfach	kompliziert
fachmännisch	laienhaft
hässlich	schön
praktisch	unpraktisch
sympathisch	unsympathisch
umständlich	direkt

⁶⁹ <http://www.attrakdiff.de>

Gruppe 2

stilvoll	stillos
voraussagbar	unberechenbar
minderwertig	wertvoll
ausgrenzend	einbeziehend
bringt mich den Leuten näher	trennt mich von Leuten
nicht vorzeigbar	vorzeigbar
zurückweisend	einladend
phantasielos	kreativ
gut	schlecht

Gruppe 3

verwirrend	übersichtlich
abstoßend	anziehend
mutig	vorsichtig
innovativ	konservativ
lahm	fesselnd
harmlos	herausfordernd
motivierend	entmutigend
neuartig	herkömmlich
widerspenstig	handhabbar

9.3.2 Liste: Ergänzungsfragen zum AttrakDiff-Fragebogen

Zur Bewertung der Rolle als Energiemonitor wurden jeweils sechs Zusatzfragen zur Darstellung der adaptiven Bäume sowie der TimeStack-Visualisierung gestellt. Die Probanden geben dabei auf einer 7-Punkt-Likert-Skala von "trifft überhaupt nicht zu" bis "trifft voll und ganz zu" an, wieweit sie den gegebenen Aussagen zustimmen.

1. Ich bin neugierig, wie sich die Visualisierung ändert, wenn sich mein Stromverbrauch ändert.
2. Diese Visualisierung macht mich auf die Konsequenzen meines Energieverbrauchs aufmerksam.
3. Ich würde meinen Freunden in sozialen Netzwerken diese Visualisierung meiner Verbrauchsdaten zeigen.
4. Durch diese Visualisierung wäre ich motiviert, auf meinen Energieverbrauch zu achten.
5. Ich wäre besorgt, dass mein Energieverbrauch zu schlechten Ergebnissen führt.
6. Ich könnte mir vorstellen, diese Grafik z.B. in einem digitalen Bilderrahmen in meiner Wohnung aufzustellen.

Abschließend: optionales Freitext-Feld für sonstige Kommentare

9.3.3 Texte: Freitext-Kommentare der Teilnehmer

Kommentare zu Visualisierung A: Bäume

»Ein gutes und schlechtes Ergebnis bzgl. des Energieverbrauchs ist sofort zu erkennen. Im Vergleich zum TimeStack fehlt aber die Nachvollziehbarkeit wie sich der Stromverbrauch bzgl. der Verbraucher (oder Sensoren) ergibt. Vielleicht wenn man verschiedene Objekte verschiedenen Verbraucher zuordnen könnte und so Teile des "Wäldchens" schön sind und andere wiederum hässlich.«

»Der Bezug zum Energieverbrauch ist mir nicht klar ersichtlich, Werte fehlen völlig und die Grafik ist nicht für einen technischen Vergleich tauglich.«

»Diese völlig neue Art der Energieanzeige gefällt mir ausgesprochen gut! Anhand des Zustands der Bäume wird jedem Verbraucher mit einem Blick klar, wie sein Energieverhalten ist. Falls Energieeinsparungen angebracht sind, sieht man ebenfalls bereits mit einem Blick den Erfolg. Ich kann mir auch vorstellen, dass diese Anzeige die Menschen zu sparsamerem Energieverbrauch anspornt, denn wer will schon durch sein Verhalten so traurige, sterbende Bäume verursachen. Außerdem entfällt die lästige Rechnerei, wenn man sich ein Bild über seinen eigenen Verbrauch schaffen will. Für mich eine super Idee!!!«

»Als grobe Richtlinie ist diese grafische Repräsentation hilfreich. Jedoch erweckt sie den Wunsch nach Detailinformationen, warum bzw. wodurch der Stromverbrauch genau zu diesem schlechten Ergebnis führt. D.h. Statistiken über Menge in KWh pro Tag/Woche/Monat/Jahr mit verbundenen Kosten. Welche Steckdosen/Zimmer/Verbraucher benötigen genau wie viel Strom - wo sind Einsparpotentiale (Zeitschaltuhr, neue Geräte, ...) Die Metaebene ("Bäume") sollte den Nutzer dazu animieren, so gut wie möglich zu optimieren und dann über einen flüchtigen Blick erfassen können, ob Handlungsbedarf ist, oder nicht. Ob das nun über "Bäume" oder ein Ampelsystem oder ähnliches visualisiert wird ist hierbei nebensächlich.«

»Ich stelle mir sicherlich nicht einen kaputten Wald in den Bilderrahmen damit ich meinen schlechten Energieverbrauch sehe :)«

»sehr kreativ! Nur ist schwierig abzulesen, wieviel Energie man konkret verbraucht hat (Zahlen bzw. prozentuale Angaben)«

»Sehr kreative Visualisierung! Was mir als Zahlen-Fan etwas fehlt ist die quantitative Interpretierbarkeit, deshalb wäre mir eine einfache Balken-Visualisierung lieber, auch wenn sie natürlich nicht so originell ist.«

Kommentare zu Visualisierung B: TimeStack

»Ich verstehe nicht, wieso im unteren Bild weniger Energie verbraucht wurde. Was bedeutet "Sensor 1" bis "Sensor 4"? Was bedeuten die Farben? Was ist gut, was ist schlecht? Mit genauerer Erklärung/Legende wäre die Visualisierung vielleicht nicht schlecht - aber wer will bei einem solchen Low-Involvement-Thema schon so detaillierte Informationen...«

»Ich habe diese Visualisierung überhaupt nicht verstanden. ich kann nicht sehen, wo ich welchen Energieverbrauch ablesen kann, da die Summe immer 100 Prozent ist.«

»Ich habe nicht wirklich erkannt, dass ich weniger Energie verbraucht haben soll. Zumindest nicht auf den ersten Blick.«

»Ich kenne TimeStack nicht, aber es wäre besser, wenn man den Verbrauch der einzelnen Geräte/Sensoren einzeln darstellt. Dann könnte man auch mit Farben (z.B. grün, gelb, orange, rot) angeben, dass man weniger (grün) bzw. mehr Energie (z.B. rot) verbraucht hat. Dann wäre man evtl. motivierter die Anzeigen alle "grün" zu bekommen.«

»Etwas unübersichtlicher Wirrwarr.«

»da die angaben des Verbrauchs in % sind und in beiden Grafiken auf den ersten blick lediglich in der zeit eine Veränderung ist und beide die 100% voll ausgenutzt wurden, kann nicht wirklich festgestellt werden ob der verbrauch in Grafik 2 geringer ist...«

»TimeStack eignet sich als Detailansicht für die Metadarstellung "Bäume"«

»Ich finde diese Art der Visualisierung für ungeübte sehr unübersichtlich und nicht auf einen Blick verständlich. eine 100% darstellung des Energieverbrauchs ist verwirrend, da man keinen Bezug zum tatsächlichen Verbrauch hat. Es kann natürlich auch sein, dass ich die Grafik falsch verstanden habe, was allerdings auch nicht für die Grafik spricht.«

»Wie soll man denn bei "Time Stack" sehen, dass man(absolut) weniger Energie verbraucht hat? Das sind doch alles relative Daten.«

9.4 Liste: Felder des Energie-Rekorders

Bedeutung der Felder des Energierekorders (siehe Abb. 56, S. 114):

- **Latest:** Zuletzt empfangender Watt-Wert des Sensors.
- **Min/Max:** Größter und kleinster Wert ungleich 0 für diesen Sensor, innerhalb der letzten 15000 Datensätze.
- **Delta:** Differenz zwischen Min und Max, ergibt die Größe der individuellen Werte-Skala, in den der aktuelle Verbrauch eingeordnet wird.
- **Curr.Avg.:** Momentaner Durchschnittsverbrauch, ermittelt aus den letzten 10 Messungen.
- **TreeVal:** Position des aktuellen Messwerts innerhalb der individuellen Werteskala in Prozent. Für die Baumvisualisierung heißt das: 0=beste Gesundheit, 100=verwelkte Bäume.
- **Tendency:** Verbalisierung der aktuellen Verbrauchsentwicklung. Der Wert in Klammern gibt die Watt-Differenz an. Die Tendenz ändert sich bei sehr kleinen Watt-Änderungen nicht, um Signalschwankungen auszugleichen.
 - „good“: Momentan wird im Vergleich zum zuletzt berechneten *TreeVal* weniger Energie verbraucht.
 - „bad“ : Momentan wird im Vergleich zum zuletzt berechneten *TreeVal* mehr Energie verbraucht.
 - „neutral“: Das Verbrauchsniveau ist im Vergleich zum letzten Berechnungszeitpunkt im Wesentlichen gleich.
- **Records:** Anzahl der aufgezeichneten Datensätze.
- **Updated:** Zeitpunkt zu dem zuletzt ein Signal vom Sensor empfangen wurde.
- **Saved Yest.:** Gestern gegenüber vorgestern eingesparte Watt-Stunden (errechnet aus der von den CurrentCost-Sensoren gelieferten Tages-Aggregation).
- **Earned Yst.:** Experimentelles Spielguthaben, das aufgrund der Energie-Einsparung zwischen den letzten beiden Tagen errechnet wird.

- **Client:** Software-Version der Reporter-Software, die auf dem lokalen Rechner des Versuchsteilnehmers läuft.
- **Temperature:** Per USB-Thermometer gemessene Raumtemperatur.

9.5 Liste: Vom Publikationsserver veröffentlichte Daten

Der Publikationsserver ist ein Zwischenspeicher für die vom Energie-Rekorder erfassten Messdaten. Er veröffentlicht diese Daten über eine unkomplizierte Online-Schnittstelle, die von jeder http-fähigen Software abgefragt werden kann.

Energieverbrauch (pro Sensor bzw. Anwender)

- Gegenwärtiger Stromverbrauch in Watt (Durchschnitt der letzten Minuten), liefert -1 wenn keine Daten vorliegen.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=watt`

Antwort: 203

- Minimum (größer 0) des aufgezeichneten Verbrauchs innerhalb der letzten 14 Tage, liefert -1 wenn keine Daten vorliegen.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=min`

Antwort: 73

- Maximum des aufgezeichneten Verbrauchs innerhalb der letzten 14 Tage, liefert -1 wenn keine Daten vorliegen.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=max`

Antwort: 1027

- Stundenverbrauch in Kilowattstunden, für die letzten 7 Tage, gruppiert in 2-Stunden-Pakete. Formatiert als strichpunktgetrennte Liste, beginnend mit dem jüngsten Datensatz.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=aggregation_h`

Antwort: 14-07-27-07=0,003;14-07-27-05=0,003;14-07-27-04 ...

- Tagesverbrauch in Kilowattstunden, für die letzten 14 Tage. Formatiert als strichpunktgetrennte Liste, beginnend mit dem jüngsten Datensatz.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=aggregation_d`

Antwort: 14-07-26=0,046;14-07-25=0,046;14-07-24=0,046; ...

- Monatsverbrauch in Kilowattstunden, für die letzten 12 Monate. Formatiert als strichpunktgetrennte Liste, beginnend mit dem jüngsten Datensatz.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=aggregation_m`

Antwort: 14-06=70;14-05=59;14-04=64;14-03=258;14-02=163; ...

Serverseitige Rechengänge in den Energiedaten

Werden einem Anwender mehrere Sensoren zugewiesen, kann es erforderlich sein, den Gesamtverbrauch dieser Person darzustellen. Hierfür bietet die Schnittstelle Rechenfunktionen an, die serverseitig ausgeführt werden und dadurch die Verarbeitung in der Darstellungsschicht erleichtern.

- Summe der aktuellen Verbrauchswerte über mehrere Sensoren hinweg, nach Zeitfenster eingegrenzt.
Beispiel: `rpc.php?action=sum&what=watt&sensors=3;4;5`
Antwort: 351
- Summe der minimalen Verbrauchswerte über mehrere Sensoren hinweg, nach Zeitfenster eingegrenzt.
Beispiel: `rpc.php?action=sum&what=min&sensors=3;4;5`
Antwort: 148
- Summe der maximalen Verbrauchswerte über mehrere Sensoren hinweg, nach Zeitfenster eingegrenzt.
Beispiel: `rpc.php?action=sum&what=max&sensors=3;4;5`
Antwort: 1827
- Summe der stündlichen Kilowatt-Aggregationen über mehrere Sensoren hinweg, nach Zeitfenster eingegrenzt.
Beispiel: `rpc.php?action=sum&what=aggregation_h&sensors=3;4;5
&keyfilter=until:14-07`
Antwort: 8,714
- Summe der täglichen Kilowatt-Aggregationen über mehrere Sensoren hinweg, nach Zeitfenster eingegrenzt.
Beispiel: `rpc.php?action=sum&what=aggregation_d&sensors=3;4;5
&keyfilter=until:14-07`
Antwort: 37,274
- Summe der monatlichen Kilowatt-Aggregationen über mehrere Sensoren hinweg, nach Zeitfenster eingegrenzt.
Beispiel: `rpc.php?action=sum&what=aggregation_m&sensors=3;4;5
&keyfilter=until:14-07`
Antwort: 2985

Über einen *Debug*-Parameter lassen sich die vom Server durchgeführten Rechenschritte zu Entwicklungszwecken zudem ausgeben. Zeitfenster-Filter lassen sich durch eine einfache Syntax der Form „Schlagwort:Zeitstempel“ definieren:

Zeitfenster-Syntax für Summen-Abfragen

Code	Bedeutung
<i>Kein Wert/leer</i>	Wählt alle Datensätze aus.
<i>until:timedate</i>	Wählt Datensätze, die vor oder während des gegebenen Zeitpunkts erfasst wurden. (Logik von <=)
<i>before:timedate</i>	Wählt Datensätze, die vor des gegebenen Zeitpunkts erfasst wurden. (Logik von <)
<i>after:timedate</i>	Wählt Datensätze, die nach oder während des gegebenen Zeitpunkts erfasst wurden. (Logik von >=)
<i>from:timedate</i>	Wählt Datensätze, die vor des gegebenen Zeitpunkts erfasst wurden. (Logik von <)
<i>at:timedate</i>	Wählt Datensätze, die während des gegebenen Zeitpunkts erfasst wurden. (Logik von == oder beginntMit)

Wobei *timedate* als Zeitstempel der Form JJJJ-MM-TT definiert ist. Es ist zulässig die Monats oder Tages-Angabe wegzulassen, um die Filter-Granularität zu vergrößern, jedoch nur in linearer Reihenfolge. Gültige Werte für den 30. Oktober 2013 wären z.B.: 13 (Jahr), 13-10 (Jahr+Monat), 13-10-30 (genauer Tag).

Spiele-Entwicklung

- Virtuelle Währung („Gold“) des Anwenders, die aus der Energieersparnis errechnet wird. Diese ergibt sich aus dem Vergleich der Verbrauchsdaten von gestern und vorgestern.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=gold`

Antwort: 11893

- Liste mit Codes für erspielte Errungenschaften und Belohnungen.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=achievements`

Antwort: INSTALLED_CLIENT, SAVED_ENERGY_FIRSTTIME ...

Werte zur Darstellung der adaptiven Bäume

- Verbrauchsdaten als Prozentwert, wobei 0 eine ideale Einsparung, 100 den höchsten Energieverbrauch darstellt.
Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=treeinfo`
Antwort: 14
- Verbrauchstendenz, die aus den letzten Aufzeichnungen ermittelt wird, wobei 0 gleichbleibenden, 1 steigenden und 2 sinkenden Verbrauch signalisiert.
Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=treeinfo&what=tendency`
Antwort: 2
- Versionsnummer der auf dem Anwender-Computer laufenden Visualisierungssoftware.
Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=clientversion`
Antwort: 1.1.540

Temperaturdaten

- Aktuelle Temperatur, die vom USB-Thermometer am PC geliefert wird.
Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=temp`
Antwort: 32.375
- Historische Temperaturdaten der letzten 7 Tage, gruppiert in 2-Stunden-Pakete. Formatiert als strichpunktgetrennte Liste.
Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=tempRep`
Antwort: 14-06-30-8=26,88;14-06-30-10=30,96;14-06-30-12=31 ...

Anwender-Präsenz

- Anzahl der aktuell vor dem Rechner befindlichen Personen, ermittelt per Webcam-basierter Gesichtserkennung.
Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=presence`
Antwort: 1
- Historische Präsenzdaten der letzten 7 Tage, gruppiert in 2-Stunden-Pakete. Formatiert als strichpunktgetrennte Liste.
Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=presenceRep`
Antwort: 14-06-30-8=0;14-06-30-10=1;14-06-30-12=1;14-06-30 ...

Anwendereigenschaften

- Name des Anwenders.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=username`

Antwort: René

- Öffentliche Sichtbarkeit, Standard: 0. Ist dieser Wert 1, wird der Datensatz aus öffentlichen Darstellungen ausgeschlossen.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=unlisted`

Antwort: 0

- Auflistung aller Datensätze, die eine reale Person repräsentieren. Liefert eine kommasetrennte Liste. Mittels des optionalen Parameters `inclSensors=1` werden auch Datensätze eingeschlossen, die ein technisches Segment (z.B. einen weiteren Sensor eines übergeordneten Anwenders) repräsentieren. Über den optionalen Parameter `inclUnlisted=1` lassen sich zudem auch öffentlich unsichtbar geschaltete Datensätze einbinden.

Beispiel: `rpc.php?action=get&what=userlist`

Antwort: 1,103,2,3,5,600,700,800

- Avatar-Bild des Anwenders.

Beispiel: ``



Antwort:

Sensor- und Geräteeigenschaften

- Identifikation als Sensor. Liefert 1, wenn dieser Datensatz ein Sensor ist oder 0, wenn dieser Datensatz eine reale Person repräsentiert.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=isSensor`

Antwort: 0

- Name des Sensors. Liefert „Nameless Device“, falls nicht definiert.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=sensorname`

Antwort: Laptop

- Auflistung aller Sensoren, die einer Person zugeordnet wurden. Über den optionalen Parameter `excludeUnlisted=1` lassen sich öffentlich unsichtbare Datensätze ausschließen.

Beispiel: `rpc.php?userID=5&action=get&what=usersensors`

Antwort: 601,602,603,604

Diagnose- und Versionsinformationen

- Test der grundsätzlichen Funktionalität des Scripts.
Beispiel: `rpc.php?action=testconn`
Antwort: `Connection seems ok.`
- Versionsnummer der Client-Software, die online verfügbar ist. (Grundlage für automatisches Online-Update des Clients zur Erfassung von Präsenz, Temperatur, etc.)
Beispiel: `rpc.php?action=currentNumber`
Antwort: `540`
- Dateigröße des Client-Download-Pakets in Bytes.
Beispiel: `rpc.php?action=sizeOfDownload`
Antwort: `28646657`
- Aktueller Zustand (z.B. laufend oder pausiert) und Modus (z.B. Standard- oder Wartungsmodus) des Servers als mit Zeilenumbruch getrennte Zeichenketten-Liste.
Beispiel: `rpc.php?action=serverstate`
Antwort: `running\ndefault`

Fehler-Codes

Liefert eine Serveranfrage einen Wert kleiner 0 zurück, handelt es sich um einen der folgenden Fehler:

Code	Bedeutung
0	Kein Fehler (meist Schreibanfrage ohne explizites Lese-Ergebnis).
-1	Anwender-ID fehlt.
-2	Codierungs- oder Zeitfenster-Angaben fehlen.
-3	Speicherung oder Dateiübertragung schlug fehl.
-4	Zu übertragende Datei fehlt.
-5	Temporärer Ordner auf dem Server fehlt.
-7	Fehler beim Schreiben auf die Festplatte.
-8	Unerwarteter Abbruch einer Dateiübertragung.
-99	Sonstiger Fehler bei Dateiübertragung.
-101	Herunterzuladende Datei wurde nicht gefunden.
-201	Inhaltsidentifikator fehlt (Parameter „what“).
-202	Sensor-ID fehlt.
-1000	Bilddatei ist zu groß oder im falschen Format.

9.6 Anlagen zur DynaLearn-Charakter-Evaluation

9.6.1 Liste: Fragen und Attribute

9 [0009]How would you rate the character you just saw? It was: *

Please choose the appropriate response for each item:

	Disagree strongly						Agree strongly
boring	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
enjoyable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
entertaining	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
engaging	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
exciting	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
fun	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
interesting	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
involving	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10 [0010]How would you spontaneously rate the personality of the character you just saw? It appeared to be: *

Please choose the appropriate response for each item:

	Disagree strongly						Agree strongly
extraverted, enthusiastic	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
critical, quarrelsome	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
dependable, self-disciplined	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
anxious, easily upset	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
open to new experiences, complex	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
reserved, quiet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
sympathetic, warm	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
disorganized, careless	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
calm, emotionally stable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
conventional, uncreative	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11 [0011]How would you spontaneously rate the abilities of the character? It appeared to be: *

Please choose the appropriate response for each item:

	Disagree strongly						Agree strongly
competent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
knowledgeable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
qualified	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
skilled	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
smart	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
intelligent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abb. 90: Fragen und zu bewertende Attribute aus den DYNALearn-Charakter-Evaluierungen.

9.6.2 Diagramme: Metadaten der Teilnehmer

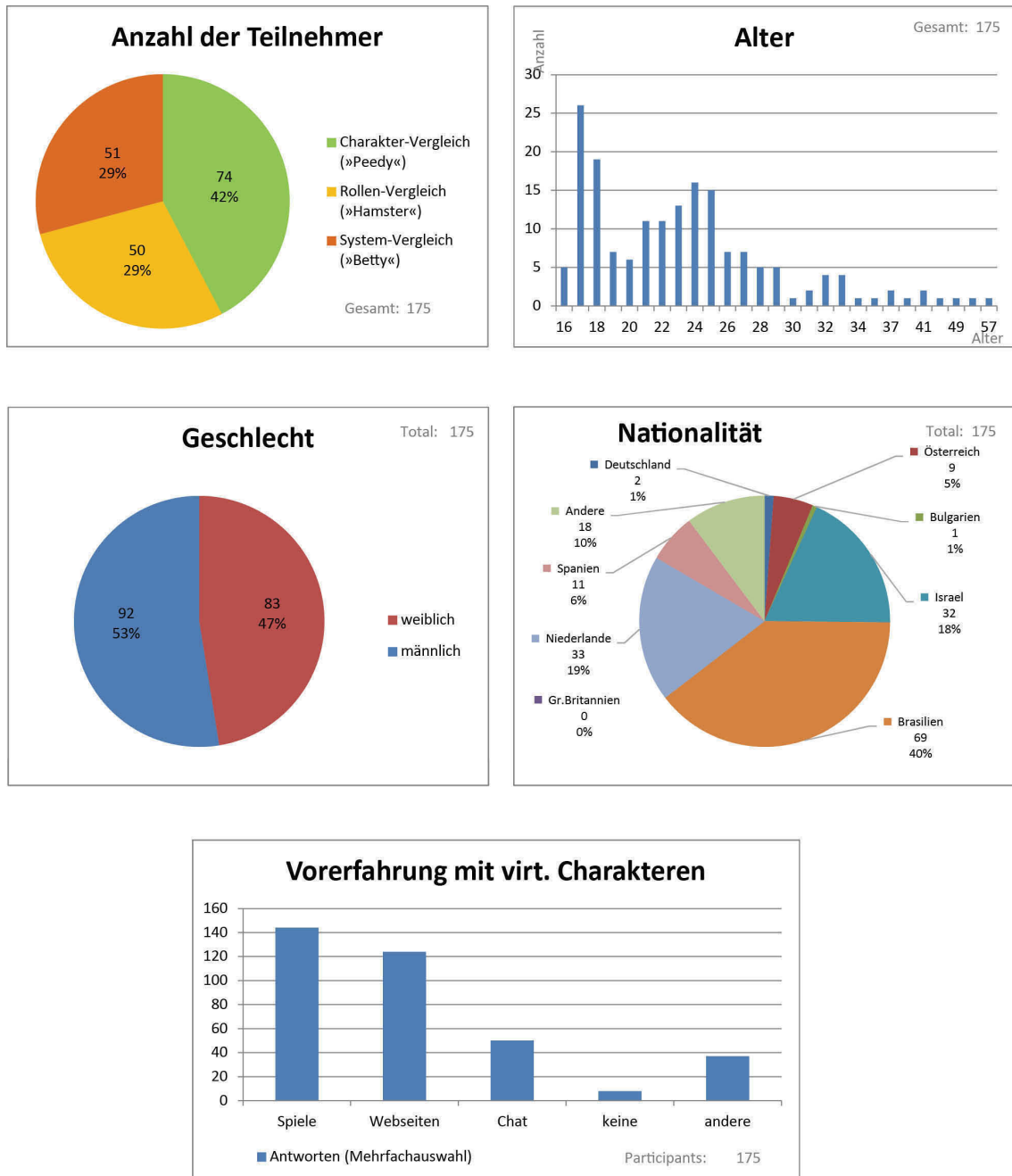


Abb. 91: Übersicht über die Meta-Daten der Teilnehmer der Charakter-Evaluierung. Die Daten umfassen alle drei Teilstudien gesamt und berücksichtigen nur vollständig ausgefüllte Antworten.

9.6.3 Diagramme: Antworten Studie »Peedy« (Character-Vergleich)

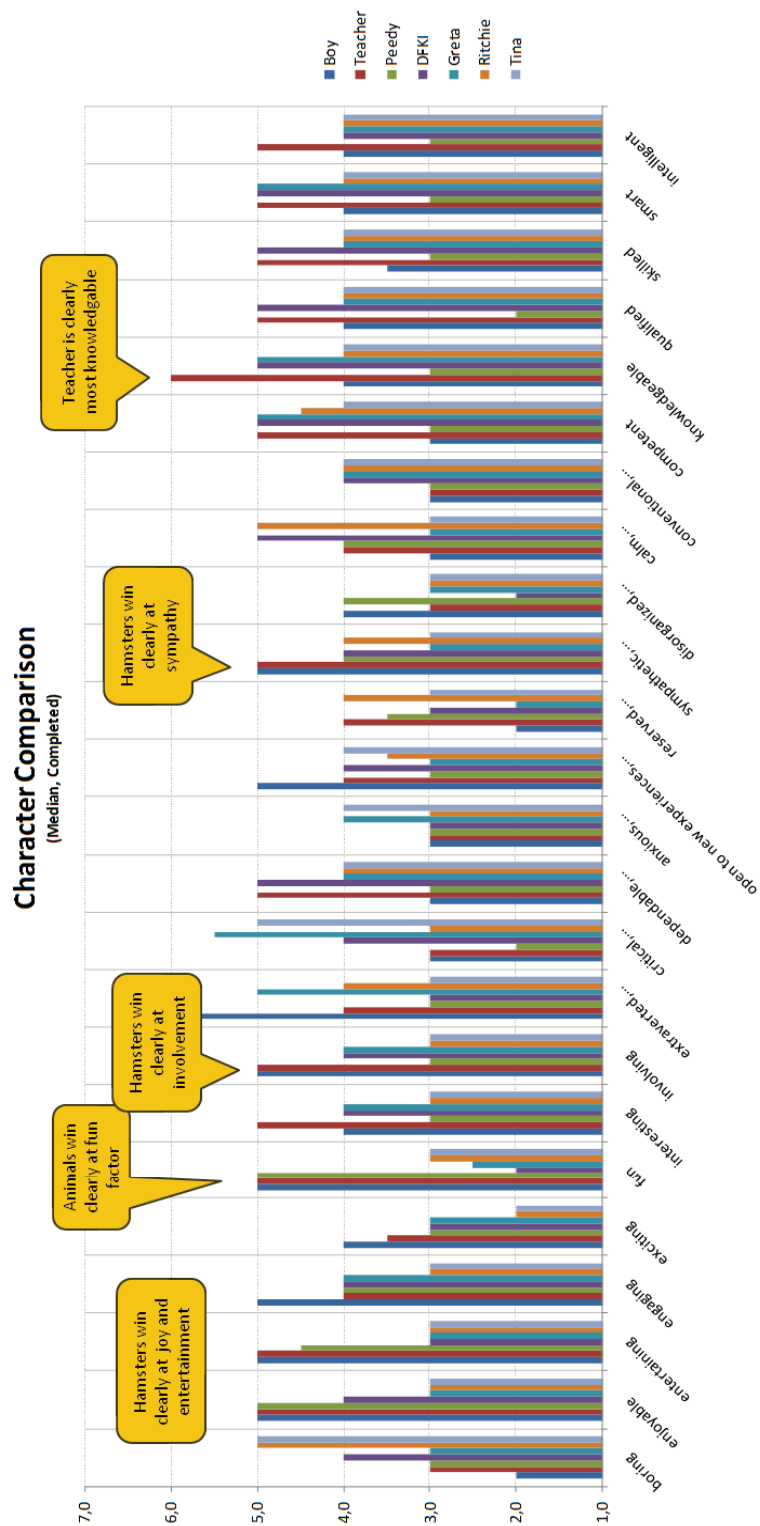


Abb. 92: Charakter-bezogene Ergebnisse der Studie »Peedy« zum Vergleich der Hamster mit alternativen Designs.

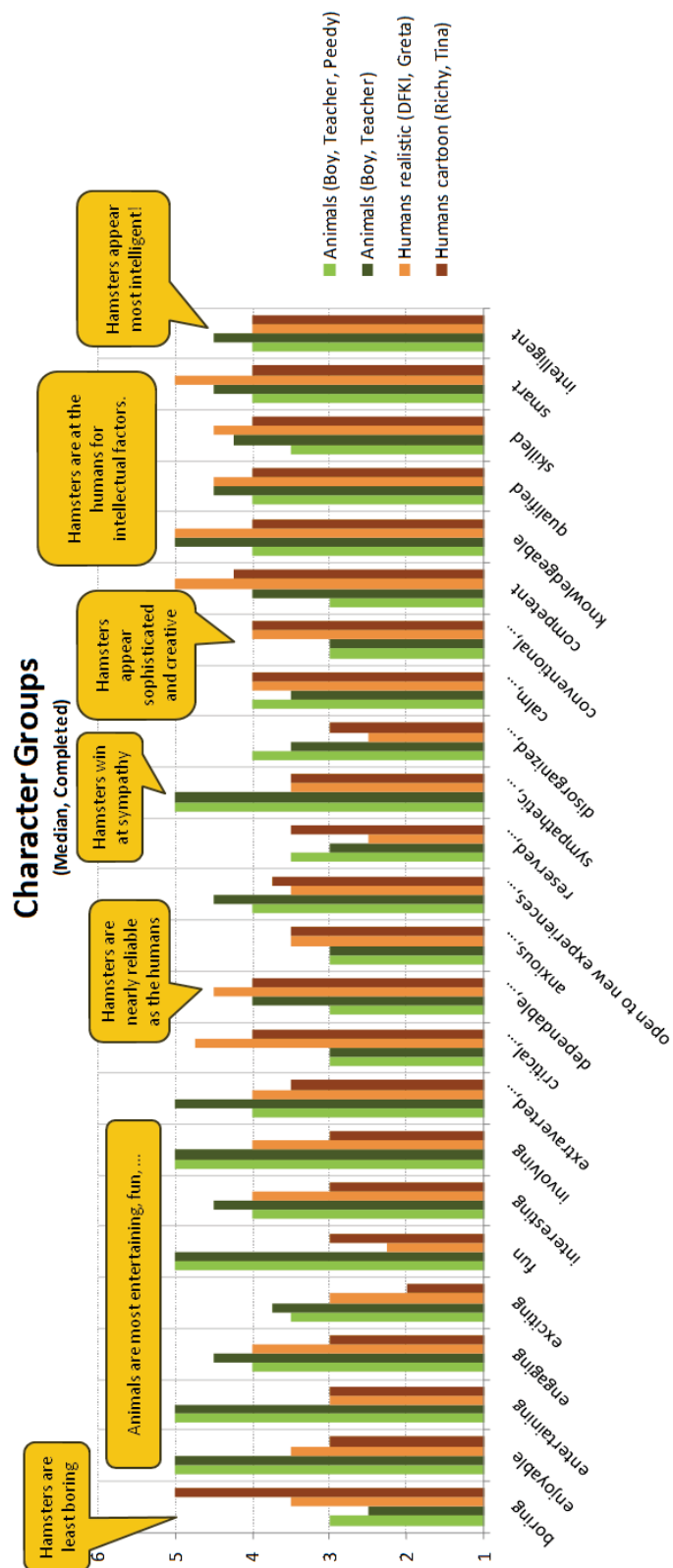


Abb. 93: Nach Mensch, Tier und Realismus gruppierte Ergebnisse der Studie »Peedy« zum Vergleich der Hamster mit alternativen Designs.

9.6.4 Diagramme: Antworten Studie »Hamster« (Rollen-Vergleich)

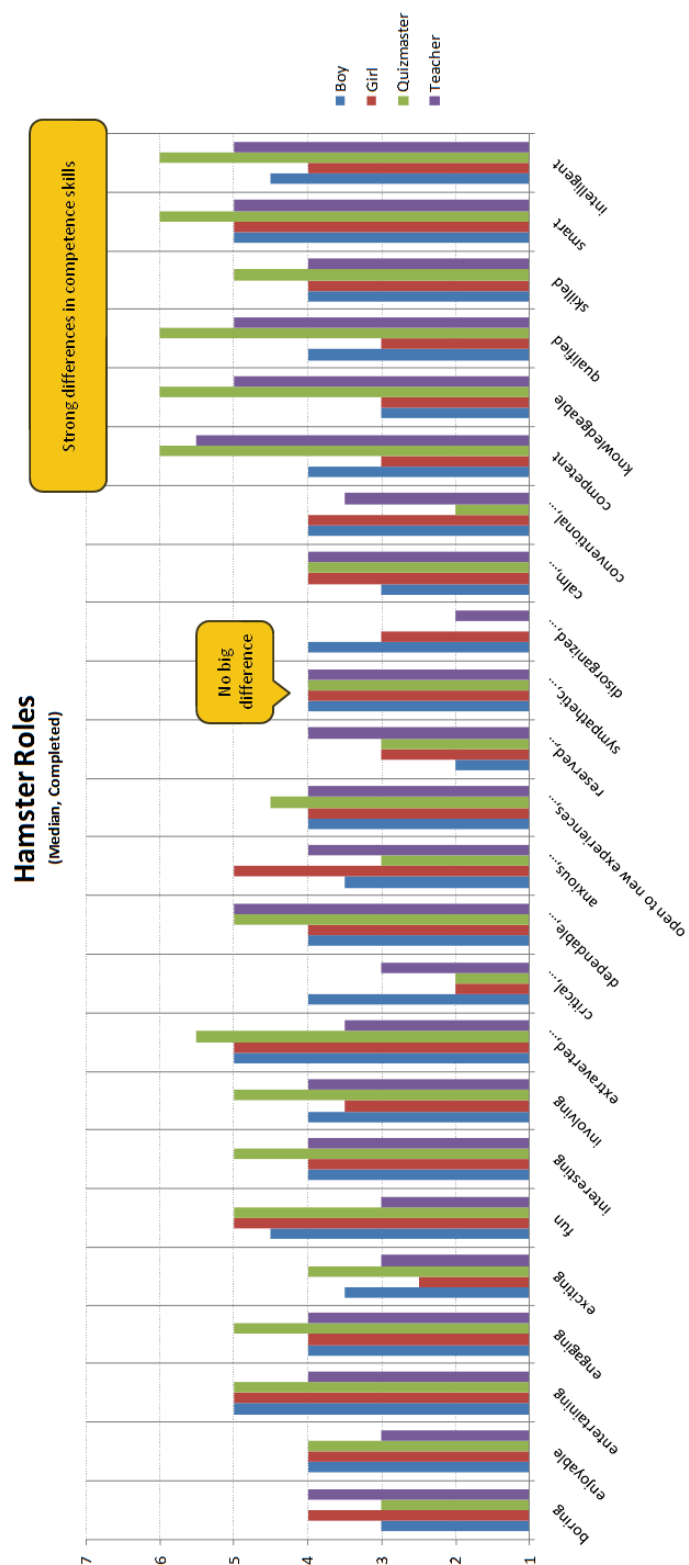


Abb. 94: Ergebnisse der Studie »Hamster« zum Vergleich der Rollen insgesamt.

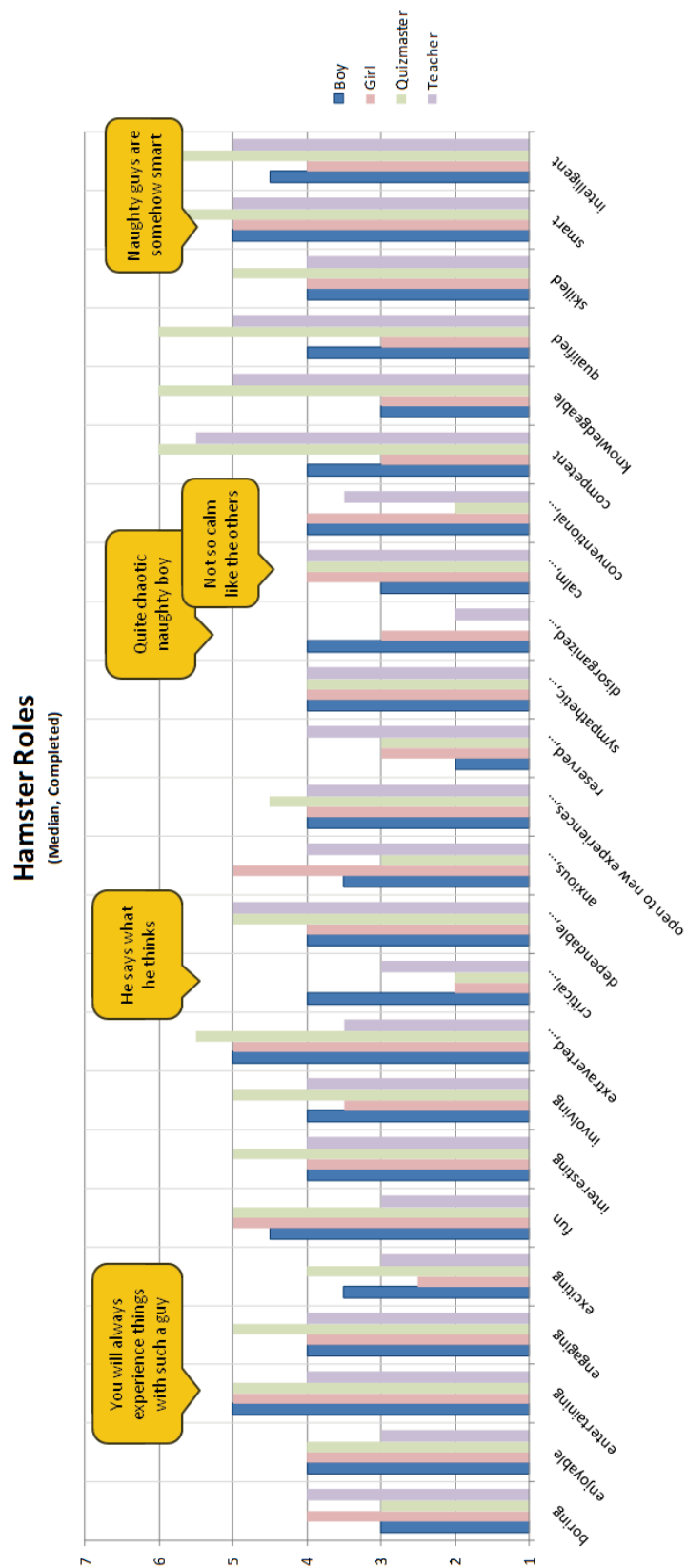


Abb. 95: Ergebnisse der Studie »Hamster« zum Vergleich der Rollen mit Hervorhebung des Schülers.

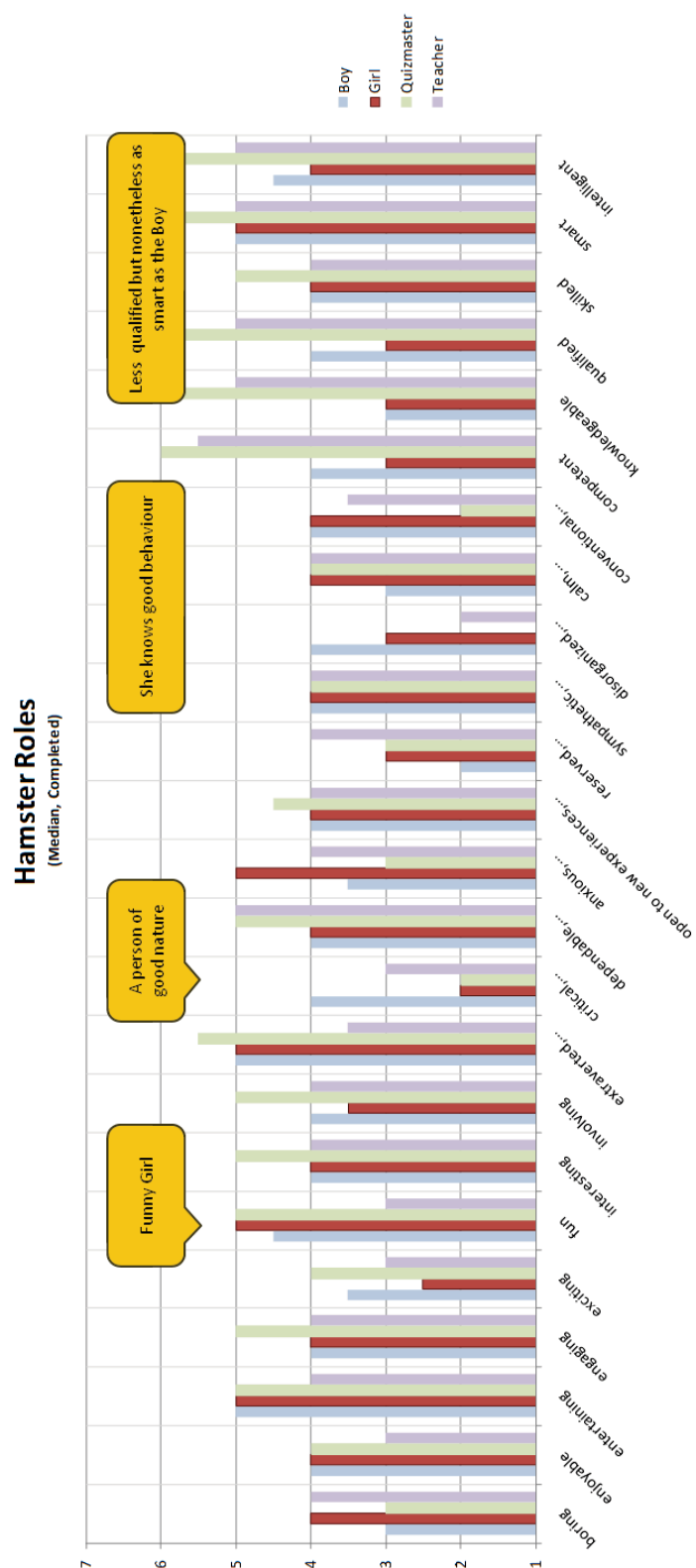


Abb. 96: Ergebnisse der Studie »Hamster« zum Vergleich der Rollen mit Hervorhebung der Schülerin.

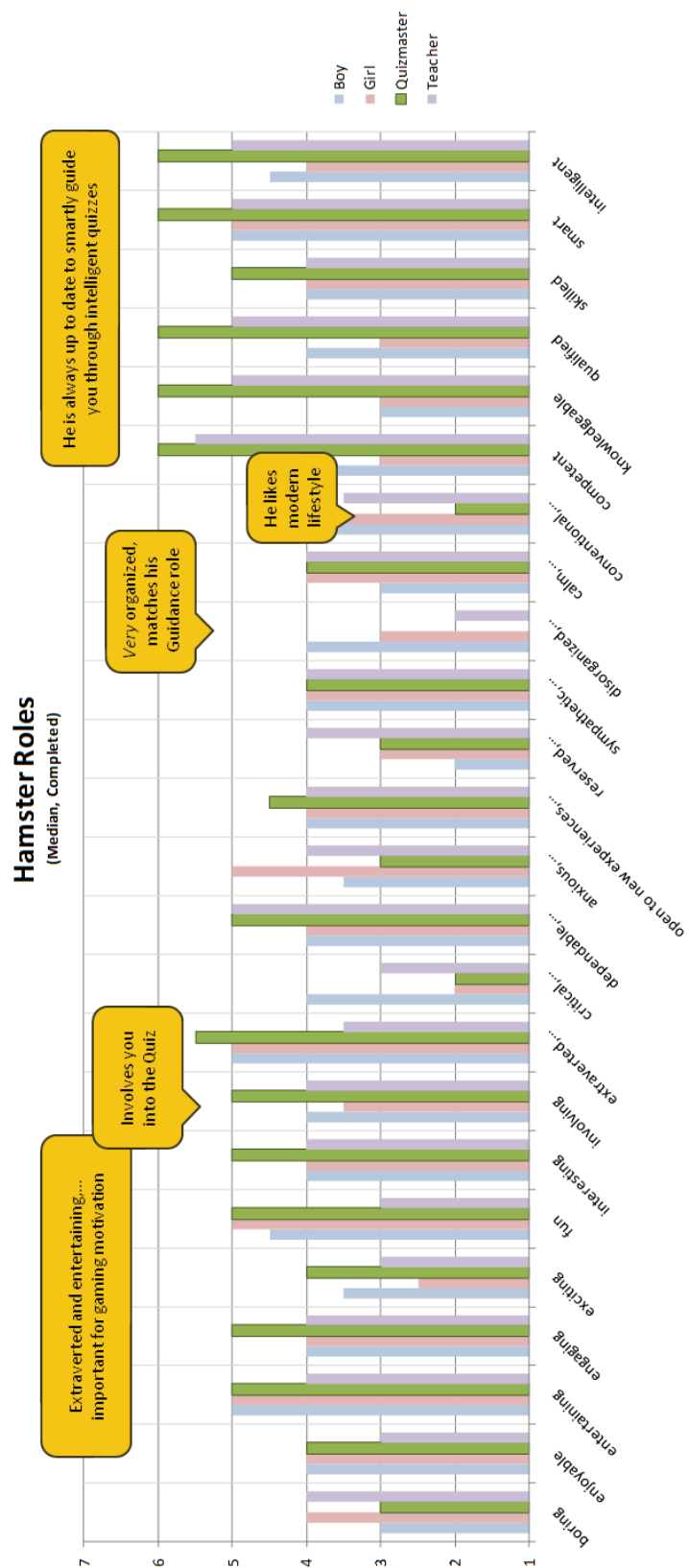


Abb. 97: Ergebnisse der Studie »Hamster« zum Vergleich der Rollen mit Hervorhebung des Quizmasters.

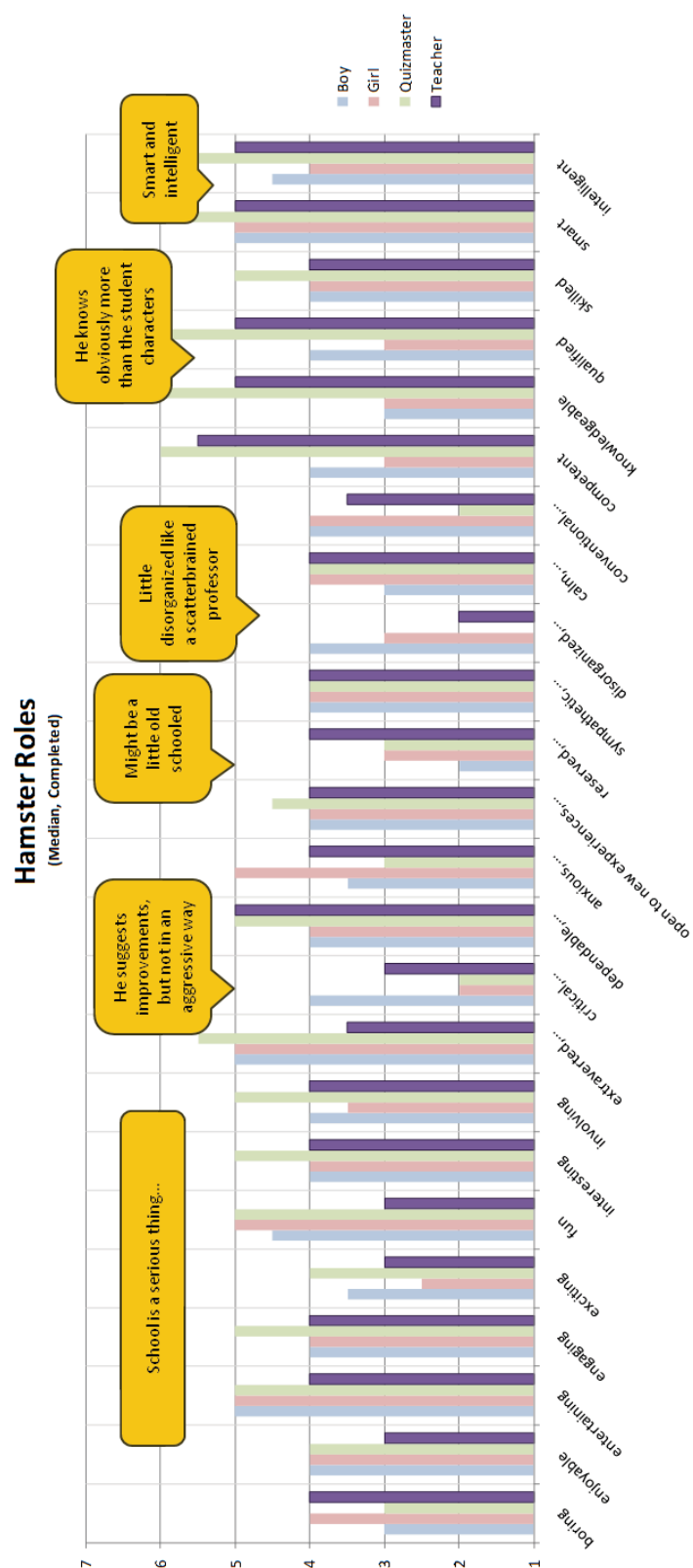


Abb. 98: Ergebnisse der Studie »Hamster« zum Vergleich der Rollen mit Hervorhebung des Lehrers.

9.6.5 Diagramm: Antworten Studie »Betty« (System-Vergleich)

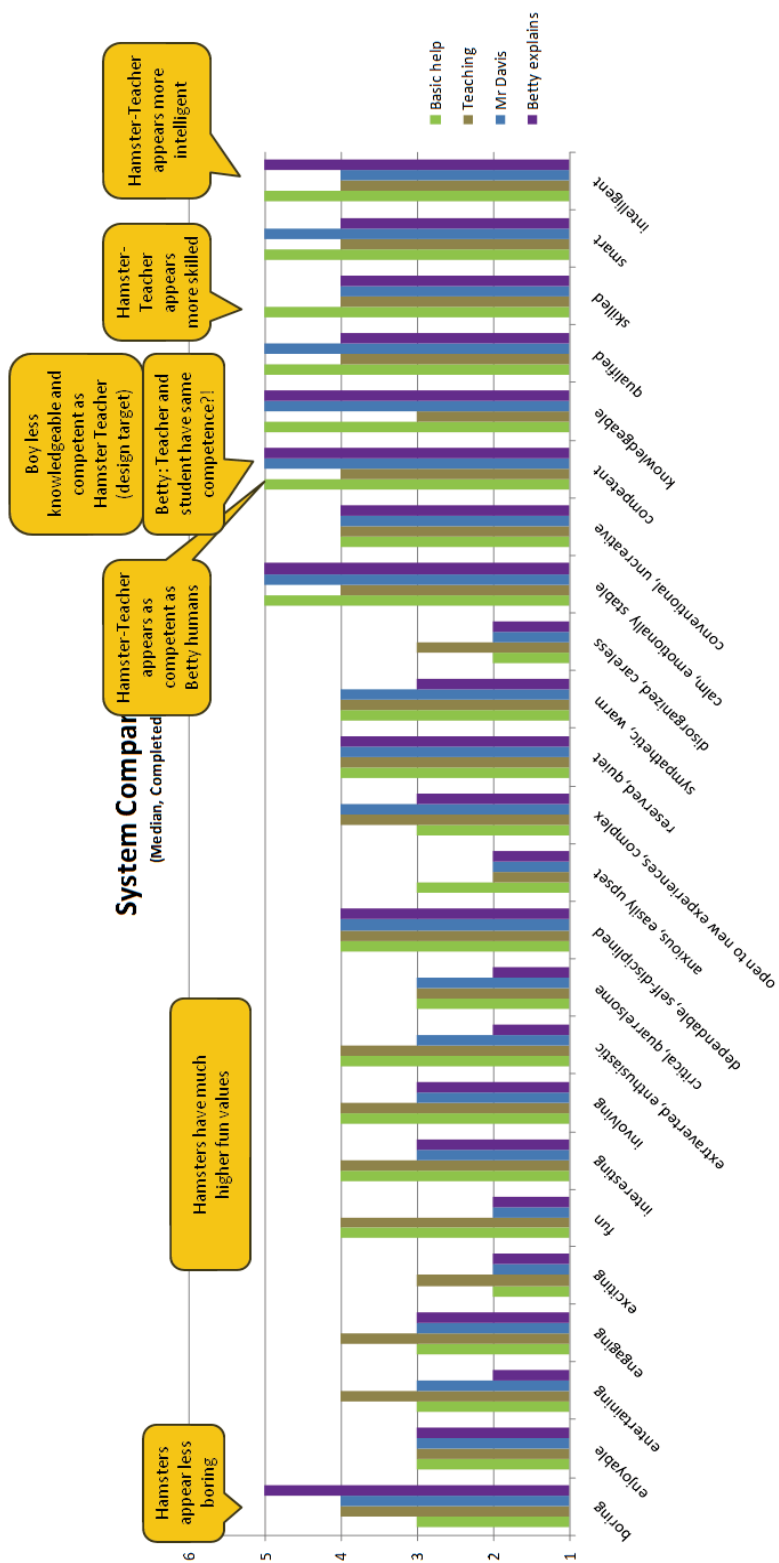


Abb. 99: Ergebnisse der Studie »Betty« zum Vergleich der Hamster-Anwendung mit Betty's Brain.

10. Anhang C – Verzeichnisse und Referenzen

10.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

1. **Adobe Systems Inc. 2011.** Klassendokumentation 'uint'. *ActionScript 3.0 Referenzhandbuch f.d. Adobe Flash-Plattform*. [Online] 2011. [Zitat vom: 01. Juni 2014.] http://help.adobe.com/de_DE/FlashPlatform/reference/actionscript/3/uint.html
2. **Aglioti, Salvatore, DeSouza, Joseph F.X. und Goodale, Melvyn A. 1995.** Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Current Biology*, Vol. 5, Nr. 6. 1995, S. 679-685.
3. **Alonso, Jason B., Chang, Angela, Robert, David und Breazeal, Cynthia. 2011.** Toward a dynamic dramaturgy. *Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition*. Atlanta, Georgia, USA : ACM, New York, 2011.
4. **Amann, Caroline. 2012.** Intellektuelle Montage. *Lexikon der Filmbegriffe*. [Online] 13. Oktober 2012. [Zitat vom: 16. Dezember 2013.] <http://filmlexikon.uni-kiel.de/index.php?action=lexikon&tag=det&id=5818> ISSN: 1610-420X.
5. **André, Elisabeth, Bühling, René, Bee, Nikolaus, Wißner, Michael und Häring, Markus. 2009.** *Models and basic animations for characters*. s.l. : DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526, Deliverable D5.1., 2009.
6. **André, Elisabeth, Bühling, René, Endrass, Birgit und Masoodian, Masood. 2014.** Evaluating the Effectiveness of Visualizations for Comparing Energy Usage Data., *Workshop Proceedings of FSEA 2014, The AVI 2014 Workshop on Fostering Smart Energy Applications through Advanced Visual Interfaces*. Como, Italien : Working Paper Series 01/2014, Department of Computer Science, The University of Waikato, 2014, S. 5-8.
7. **Bancroft, Tom. 2006.** *Creating Characters with Personality: For Film, TV, Animation, Video Games, and Graphic Novels*. s.l. : Watson-Guptill, 2006.
8. **Bartneck, Christoph. 2002.** Integrating the OCC Model of Emotions in Embodied Characters. *Workshop on Virtual Conversational Characters*. 2002.
9. **Barzel, Ronen. 1997.** Lighting controls for computer cinematography. *Journal of Graphic Tools* 2. 1997, S. 1-20.
10. **Baylor, Amy L. und Kim, Yanghee. 2004.** Pedagogical Agent Design: The Impact of Agent Realism, Gender, Ethnicity, and Instructional Role. *Lecture Notes in Computer*

- Science: Intelligent Tutoring Systems*. Vol. 3220. s.l. : Springer, Berlin/Heidelberg, 2004, S. 592-603.
11. **Bigelow, Alex, Drucker, Steven, Fisher, Danyel und Meyer, Miriah. 2014.** Reflections on How Designers Design with Data. *Proceedings of the 12th International Working Conference on Advanced Visual Interfaces 2014 (AVI '14)*. Como, Italien : s.n., 2014.
 12. **Birn, Jeremy. 2006.** *Digital lighting and rendering*. Indianapolis, Ind; London : New Riders; Pearson Education [distributor], 2006. ISBN: 978-0321316318.
 13. **Biswas, Gautam, Roscoe, Rod, Jeong, Hogyeong und Sulcer, Brian. 2009.** Promoting Self-Regulated Learning Skills in Agent-based Learning Environments. *Proceedings of the 17th International Conference on Computers in Education*. Hong Kong : Asia-Pacific Society for Computers in Education, 2009.
 14. **Blair, Kristen, Schwartz, Daniel L., Biswas, Gautam und Leelawong, Krittaya. 2006.** Pedagogical agents for learning by teaching: Teachable agents. *Educational Technology & Society, Special Issue on Pedagogical Agents*. 2006.
 15. **Boden, Margaret. 2004.** Creativity in a nutshell. *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. London : Routledge, 2004.
 16. **Bono, Edward de. 2000.** *Six thinking hats*. London : Penguin, 2000. ISBN: 978-0140296662.
 17. **Bordwell, David und Thompson, Kristin. 2010.** *Film art: An introduction*. New York : McGraw-Hill, 2010. ISBN: 9780071220576.
 18. **BradyGames. 2005.** *The Art of World of Warcraft*. s.l. : BradyGames, 2005.
 19. **Broms, Looe. 2011.** *Sustainable Interactions: Studies in the Design of Energy Awareness Artefacts*. Linköping; Sweden : Linköping studies in science and technology, 2011. Lizenziatsarbeit, Linköpings Universitet, Schweden. ISBN: 978-91-7393-163-2.
 20. **Bühling, René. 2012.** Visual Adaption 4: Using Energy Consumption as Input Driver for Adaptive Artwork. *youtube.com*. [Online] 07. August 2012. [Zitat vom: 02. April 2014.] https://www.youtube.com/watch?v=smn6FtB_ZMw
 21. **Bühling, René, Wißner, Michael, Häring, Markus, Mehlmann, Gregor und André, Elisabeth. 2010.** Design Decisions for Virtual Characters in the DynaLearn Interactive Learning Environment. *Book of Abstracts of the 7th International Conference on Ecological Informatics*. Ghent University, Belgien : s.n., 2010, S. 144-145.

22. **Bürdek, Bernhard E. 2013.** Von der Produktsprache zur Designsprache. *Mitteilungen designaustria, Designwissenschaft.* 2013, 02.
23. **Candan, K. Selçuk, Panchanathan, Sethuraman, Prabhakaran, Balakrishnan, Sundaram, Hari, Feng, Wu-Chi, Sebe, Nicu, Liu, Chun-Wei, Huang, Tz-Huan, Chang, Ming-Hsu, Lee, Ken-Yi, Liang, Chia-Kai und Chuang, Yung-Yu. 2011.** 3D cinematography principles and their applications to stereoscopic media processing. *Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia, MM'11.* Scottsdale, Arizona, USA. : ACM Press, 2011.
24. **Chaudhuri, Siddhartha, Kalogerakis, Evangelos, Giguere, Stephen und Funkhouser, Thomas. 2013.** AttribIt: Content Creation with Semantic Attributes. *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '13.* St. Andrews, Scotland, United Kingdom : ACM, New York, 2013, S. 193–202.
25. **Christie, Marc, Lamarche, Fabrice und Benhamou, Frédéric. 2009.** A Spatio-temporal Reasoning System for Virtual Camera Planning. *Proceedings of the 10th International Symposium on Smart Graphics.* Salamanca, Spain : Springer-Verlag, 2009.
26. **Christie, Marc, Machap, Rumesch, Normand, Jean-Marie, Olivier, Patrick und Pickering, Jonathan. 2005.** Virtual Camera Planning - A Survey. [Buchverf.] Andreas Butz, Brian Fisher, Antonio Krüger und Patrick Olivier. *Proceedings of 5th International Symposium of Smart Graphics, SG 2005.* Frauenwörth Cloister, Germany : Springer Berlin Heidelberg, 2005, S. 40-52.
27. **Conati, Cristina und Zhao, Xiaohong. 2004.** Building and Evaluating an Intelligent Pedagogical Agent to Improve the Effectiveness of an Educational Game. *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI'04.* Funchal, Madeira, Portugal : ACM, New York, 2004, S. 6-13.
28. **Darby, Sarah. 2006.** *The effectiveness of feedback on energy consumption: a review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays.* Tech. rep. Environmental Change Institute : University of Oxford, 2006.
29. **DESIGNNORD. 2008.** Flower Pod. *Greener Gadgets Design Competition 2008.* [Online] 2008. [Zitat vom: 23. März 2014.] <http://www.core77.com/competitions/GreenerGadgets/projects/4358/>
30. **Dobson, John K. und Griffin, J. D. Anthony. 1992.** Conservation Effect of Immediate Electricity Cost Feedback on Residential Consumption Behaviour. *Proceedings of the ACEEE 1992 Study on Energy Efficiency in Buildings 10.* s.l. : American Council for an Energy Efficient Economy, 1992, S. 33-35.

31. **Donath, Judith. 2004.** Artificial pets: Simple behaviors elicit complex attachments. [Buchverf.] Marc Bekoff. *The Encyclopedia of Animal Behavior*. s.l. : Greenwood Press, 2004.
32. **Duden. 2013.** Formensprache, die. *Duden online*. [Online] 2013. [Zitat vom: 11. Dezember 2014.] <http://www.duden.de/rechtschreibung/Formensprache>
33. **Duke, David J., Barnard, Philip J., Halper, Nick und Mellin, Mara. 2003.** Rendering and Affect. *Computer Graphics Forum*. Vol. 22, Nr. 3. s.l. : Blackwell Publishing, Inc, 2003, S. 359-368.
34. **Eberle, Norbert. 2005.** Den Zufall kreativ nutzen. *Wie Ideen entstehen - Kreativität, Ideenfindung und Innovation*. [Online] 2005. [Zitat vom: 05. Oktober 2013.] <http://wie-ideen-entstehen.de/zufall.htm>
35. **Ebrahimian, Babak A. 2004.** *The Cinematic Theater*. s.l. : Scarecrow Press, 2004. ISBN: 0810849879.
36. **Eisenstein, Sergei. 1967.** *Film Form: The Film Sense*. Cleveland and New York : Meridian/World Publishing Company, 1967.
37. **Eisner, Will. 2001.** *Graphic Storytelling: The Definitive Guide to Composing a Visual Narrative*. s.l. : North Light Books, 2001.
38. **Fable-Wiki. 2014.** Alignments. *Wikia*. [Online] 17. August 2014. [Zitat vom: 09. September 2014.] <http://fable.wikia.com/wiki/Alignments>
39. **Farber, Matthew. 2014.** Why Serious Games Are Not Chocolate-Covered Broccoli. *edutopia.org*. [Online] 19. Februar 2014. [Zitat vom: 26. April 2014.] <http://www.edutopia.org/blog/serious-games-not-chocolate-broccoli-matthew-farber>
40. **Fendt, Stefan. 2014.** *Datenvisualisierung anhand eines Characters*. Augsburg : Universität Augsburg, Lehrstuhl für Human Centered Multimedia, 2014. Bachelorarbeit.
41. **Fischer, Corinna. 2008.** Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency*. s.l. : Springer Netherlands, 2008, S. 79-104.
42. **Flutura, Simon. 2014.** *Selbstorganisation als Werkzeug zum transportieren visueller, narrativer Themen in interaktiven 3D-Inszenierungen*. Augsburg : Universität Augsburg, Lehrstuhl für Human Centered Multimedia, 2014. Masterarbeit.

43. **Fogg, BJ. 2009.** A Behavior Model for Persuasive Design. *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*. Claremont, California : ACM, 2009.
44. **Fogg, BJ. 1998.** Persuasive Computers: Perspectives and Research Directions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI98)*. Los Angeles CA USA ht : ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. New York, NY, USA, 1998.
45. **Foster, Derek, Lawson, Shaun, Blythe, Mark und Cairns, Paul. 2010.** Wattsup?: Motivating reductions in domestic energy consumption using social networks. *NordiCHI '10: Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*. Reykjavik, Iceland : ACM, New York, 2010.
46. **Fries, Christian. 2010.** *Grundlagen der Mediengestaltung*. München : Hanser, 2010. ISBN: 978-3-446-42476-0.
47. **Gamberini, Luciano, Björkskog, Christoffer, Salo, Marja, Aman, Pirkka, Corradi, Nicola, Zamboni, Luca, Perotti, Michela, Cadenazzi, Camilla, Mandressi, Stefano, Jacucci, Giulio, Tusa, Giovanni und Spagnolli, Anna. 2011.** Saving is Fun: Designing a Persuasive Game for Power Conservation. *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE11)*. Lisbon, Portugal : ACM, New York, 2011, S. 16:1-16:7.
48. **Gilroy, Stephen W., Seichter, Hartmut, Benayoun, Maurice, Cavazza, Marc, Chaignon, Rémi, Mäkelä, Satu-Marja, Niranen, Markus, André, Elisabeth, Vogt, Thurid, Urbain, Jérôme und Billinghurst, Mark. 2008.** E-Tree: Emotionally Driven Augmented Reality Art. *Proceedings of the 16th ACM International Conference on Multimedia*. Vancouver, British Columbia, Canada : ACM New York, 2008.
49. **Goulding, Meredith, Manning, Maura, Sarkozi, Drani, Witts, Margaret und Zipfinger, Susan. 2004.** Checklist of elements. *Visual Literacy: How do I make meaning*. [Online] 2004. [Zitat vom: 17. Dezember 2013.] <http://portals.studentnet.edu.au/literacy/Minisites/SCEGGSDarlinghurstrevised/vliteracy/meaning.htm>
50. **Graesser, Arthur, Person, Natalie K., Harter, Derek und Tutoring Research Group, The. 2001.** Teaching Tactics and Dialog in AutoTutor. *Artificial Intelligence in Education* (12). 2001, S. 257-279.
51. **Greenberg, Gary. 1991.** A creative arts approach to computer programming. *Computers and the Humanities*. s.l. : Kluwer Academic Publishers, 1991, Bd. 25/5, S. 267-273.

52. **Grevet, Catherine, Mankoff, Jennifer und Anderson, Scott D. 2010.** Design and Evaluation of a Social Visualization Aimed at Encouraging Sustainable Behavior. *Proceedings of the 2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2010.
53. **Gruber, Marco, Hartwig, Lena, Huber, Daniela, Lugmaier, Thomas, Görlich, Markus, Nadler, Christian, Stieber, Simon und Zydek, Ralf. 2013.** Datenauswertung, Visualisierung und Präsentation von meteorologischen Messdaten. [Studentische Projektarbeit]. Augsburg : Hochschule Augsburg, Informatik und Interaktive Medien, 2013.
54. **Gual, Jaume, Puyuelo, Marina und Lloveras, Joaquim. 2012.** Analysis of volumetric tactile symbols produced with 3D printing. *Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI 2012*. 2012, S. 60-67.
55. **Gustafsson, Anton, Bång, Magnus und Svahn, Mattias. 2009.** Power explorer: a casual game style for encouraging long term behavior change among teenagers. *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 09)*. Athens, Greece : ACM, New York, 2009, S. 182-189.
56. **Halper, Nick. 2003.** Supportive Presentation for Computer Games. *Dissertation*. Magdeburg : s.n., 2003. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
57. **Halper, Nick, Mellin, Mara, Herrmann, Christoph S., Linneweber, Volker und Strothotte, Thomas. 2003b.** Psychology and Non-Photorealistic Rendering: The Beginning of a Beautiful Relationship. [Buchverf.] J. Ziegler und H.-P. Bischoff. *Mensch & Computer 2003: Interaktion in Bewegung*. s.l. : Vieweg+Teubner, 2003b, S. 277-286.
58. **Halper, Nicolas und Olivier, Patrick. 2000.** CAMPLAN: A Camera Planning Agent. *Smart Graphics. Papers from the 2000 AAAI Spring Symposium*. Stanford : AAAI Press, 2000, S. 92-100.
59. **Hassenzahl, Marc, Burmester, Michael und Koller, Franz. 2003.** AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. [Buchverf.] J. Ziegler und G. Szwillus. *Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung*. Stuttgart, Leipzig : B.G. Teubner, 2003, S. 187-196.
60. **Hayes, Steven C. und Cone, John D. 1977.** Reducing residential electrical energy use: Payments, information and feedback. *Journal of Applied Behavior Analysis*. 1977.
61. **Henri, Robert. 1923/2007.** *The Art Spirit*. 85th Anniversary Edition. New York : Basic Books, 1923/2007. S. 262. 978-0-465-00263-4.

62. **Hinterbichler, Erik. 2008.** *Designing a better energy consumption indicator interface for the home.* Urbana, Illinois : University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008. Master Thesis.
63. **Holmes, Tiffany Grace. 2007.** Eco-visualization: Combining Art and Technology to Reduce Energy Consumption. *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI Conference on Creativity & Cognition.* Washington, DC, USA : ACM, New York, 2007.
64. **Hoshi, Takayuki, Takahashi, Masafumi, Iwamoto, Takayuki und Shinoda, Hiroyuki. 2010.** Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound. *IEEE Trans. Haptics (IEEE Transactions on Haptics).* Vol. 3, No. 3. 2010, S. 155-165.
65. **Huber, Peter. 2012.** *Dynamic Environment Simulation in a 3D Realtime Scenario.* Augsburg : Universität Augsburg, 2012. Masterarbeit.
66. **Hüther, Gerald. 2014.** Begeisterung. *Offizielle Webseite von Prof. Dr. Gerald Hüther.* [Online] 2014. [Zitat vom: 07. April 2014.] <http://www.gerald-huether.de/populaer/veroeffentlichungen-von-gerald-huether/texte/begeisterung-gerald-huether/index.php>
67. **inFamous-Wiki. 2014.** Karma. *Wikia.* [Online] 31. August 2014. [Zitat vom: 09. September 2014.] <http://infamous.wikia.com/wiki/Karma>
68. **Jhala, Arnav, Schwartz, Martin, Martinez Perez, Hector und Yannakakis, Georgios N. 2009.** Investigating the Interplay between Camera Viewpoints, Game Information, and Challenge. [Buchverf.] Christian J. Darken und G. Michael Youngblood. *Proceedings of Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE 09).* Palo Alto : AAAI Press, 2009.
69. **Johnson, Lewis W., Rickel, Jeff W. 2000.** Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environments. *International Journal of Artificial intelligence in education.* 2000, S. 47-78.
70. **Jung von Matt. 2012.** Lego "Imagine". *Portfolio JVM.* [Online] 2012. [Zitat vom: 18. Mai 2014.] http://www.jvm.com/de/work/work_subpages/lego_imagine.html
71. **Kaplan, Frédéric. 2000.** Free creatures: The role of uselessness in the design of artificial pets. [Buchverf.] T. and Indiveri, G. and Poigne, A. Christaller. *Proceedings of the 1st Edutainment Robotics Workshop.* Sankt Augustin, Germany : Fraunhofer AIS (IAIS), 2000.

72. **Kardan, Kaveh und Casanova, Henri. 2008.** Virtual Cinematography of Group Scenes Using Hierarchical Lines of Actions. *Proceedings of the 2008 ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games*. Los Angeles, California : ACM, 2008, S. 171--178.
73. **Kaufmann, Patricia. 2011.** *Grafische Anpassung virtueller Charaktere in interaktiven Echtzeitanwendungen*. Augsburg: Universität Augsburg, Lehrstuhl für Human Centered Multimedia, 2011.
74. **Kennedy, Kevin und Mercer, Robert E. 2002a.** Planning animation cinematography and shot structure to communicate theme and mood. [Buchverf.] SMARTGRAPH '02. *Proceedings of the 2nd international*. New York : ACM, 2002a, S. 1-8.
75. **Kennedy, Kevin und Mercer, Robert E. 2002b.** Using Communicative Acts to Plan the Cinematographic Structure of Animations. [Buchverf.] Robin Cohen und Bruce Spencer. *Advances in Artificial Intelligence. Proceedings of 15th Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, AI 2002*. Calgary, Canada : Springer Berlin Heidelberg, 2002b, S. 132-146.
76. **Kim, Yanghee, Baylor, Amy L. und PALS Group, -. 2006.** Pedagogical Agents as Learning Companions: The Role of Agent Competency and Type of Interaction. *Educational Technology Research & Development*. 54 (3). 2006, S. 223-243.
77. **Klemp, Klaus und Ueki-Polet, Keiko. 2009.** *Less and more. The Design Ethos of Dieter Rams*. Berlin : Gestalten, 2009. ISBN: 978-3-89955-277-5.
78. **Knebel, Alexander. 2014.** Erneuerbaren Energien weltweit zum Durchbruch verhelfen. *unendlich-viel-energie.de*. [Online] Agentur für Erneuerbare Energien, 11. März 2014. [Zitat vom: 11. März 2014.] <http://www.unendlich-viel-energie.de/erneuerbaren-energien-weltweit-zum-durchbruch-verhelfen>
79. **Leder, Helmut, Belke, Benno, Oeberst, Andries und Augustin, Dorothee. 2004.** A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British Journal of Psychology*. 2004, Bd. 95, S. 489-508.
80. **Lee, Kwan Min und Nass, Clifford. 2003.** Designing social presence of social actors in human computer interaction. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'03)*. Ft. Lauderdale, Florida, USA : ACM, New York, 2003, S. 289-296.
81. **Leelawong, Krittaya und Biswas, Gautam. 2008.** Designing Learning by Teaching Agents: The Betty's Brain System. *International Journal of Artificial Intelligence in*

- Education*. Volume 18, Issue 3. s.l. : IOS Press Amsterdam, The Netherlands, 2008, S. 181-208.
82. **Lino, Christophe, Chollet, Mathieu, Christie, Marc und Ronfard, Remi. 2011.** Computational Model of Film Editing for Interactive Storytelling. [Buchverf.] Mei Si, David Thue, Elisabeth André, James C. Lester, Joshua Tanenbaum und Veronica Zammitto. *Interactive Storytelling*. Berlin Heidelberg : Springer, 2011, S. 305-308.
83. **Lipscomb, Lindsay, Swanson, Janet und West, Anne. 2001.** Scaffolding. *Emerging Perspectives on Learning, Teaching and Technology*. 2001.
84. **managerSeminare Verlags GmbH. 2011.** Gerald Hüther: Belohnung ist genauso falsch wie Bestrafung. *youtube.com*. [Online] 30. Mai 2011. [Zitat vom: 07. April 2014.] <https://www.youtube.com/watch?v=shh31MTUL3M>
85. **Mankoff, Jennifer, Matthews, Deanna, Fussell, Susan R. und Johnson, Michael. 2007.** *Leveraging Social Networks to Motivate Individuals to Reduce Their Ecological Footprints*. Carnegie Mellon University : Human-Computer Interaction Institute, 2007. Paper 47.
86. **Mann, William C. und Thompson, Sandra A. 1988.** Rhetorical Structure Theory: Toward a Functional Theory of text Organization. *Text*. 8. Jg., 1988, Nr. 3, S. 243-281.
87. **Masoodian, Masood, Endrass, Birgit, Bühling, René, Ermolin, Pavel und André, Elisabeth. 2013.** Time-pie visualization: Providing contextual information for energy consumption data. *Proc. of the 17th International Conference on Information Visualisation, iV2013*. London, Großbritannien : s.n., 2013.
88. **Mateas, Michael. 1997.** An Oz-Centric Review of Interactive Drama and Believable Agents. *Technical Report, CMU-CS-97-156*. s.l. : School of Computer Science Carnegie Mellon University, 1997.
89. **Mateas, Michael. 2003.** Expressive AI: Games and Artificial Intelligence. *Proceedings of Level Up*. Utrecht, Niederlande : s.n., 2003.
90. **Mateas, Michael. 2001.** Expressive AI: A hybrid art and science practice. *Leonardo: Journal of the International Society for Arts, Science and Technology*. 2001, S. 147-153.
91. **Mateas, Michael. 2002.** *Interactive Drama, Art and Artificial Intelligence*. Pittsburg : Carnegie Mellon University, School of Computer Science , 2002. Dissertation.

92. **Mateas, Michael und Stern, Andrew. 2000.** Towards Integrating Plot and Character for Interactive Drama. *Working notes of the Social Intelligent Agents: The Human in the Loop Symposium*. MenloPark, CA : AAAI Press, 2000.
93. **Mehlmann, Gregor, Häring, Markus, Bühling, René, Wißner, Michael und André, Elisabeth. 2010.** Multiple Agent Roles in an Adaptive Virtual Classroom Environment. [Buchverf.] J. Albeck, N. Badler, T. Bickmore, C. Pelachaud und A. Safonova. *10th International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA2010)*. Philadelphia, USA : Springer, 2010, S. 250-256.
94. **Mehrabian, Albert. 1996.** Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in Temperament. *Current Psychology*. s.l. : Springer-Verlag, 1996, Bde. Vol. 4, Nr. 4, S. 261-292.
95. **Mehrabian, Albert und Russell, James A. 1974.** *An approach to environmental psychology*. Cambridge, Massachusetts und London, England : MIT Press, 1974. ISBN: 0-262-13090-4.
96. **Meier, Max und Beyer, Gilbert. 2011.** Interacting with Sound. [Buchverf.] Jörg Müller, Florian Alt und Daniel Michelis. *Pervasive Advertising*. London : Springer, 2011, S. 325-342.
97. **Metzger, Paul J. 1993.** Adding reality to the virtual. *Virtual Reality Annual International Symposium*. Seattle : IEEE, 1993, S. 7-13.
98. **Midden, Cees und Ham, Jaap. 2008.** The persuasive effects of positive and negative social feedback from an embodied agent on energy conservation behavior. *Proceedings of the AISB 2008 Convention, Vol 3., Persuasive Technology*. Aberdeen, Scotland : The Society for the Study of Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour, 2008.
99. **Milgram, Paul, Takemura, Haruo, Utsumi, Akira und Kishino, Fumio. 1995.** Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Proc. SPIE 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies*. Boston, MA : s.n., 1995, Bd. 282, S. 282-292.
100. **Monigatti, Paul, Apperley, Mark und Rogers, Bill. 2010.** Power and energy visualization for the micro-management of household electricity consumption. *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI'10)*. Roma, Italy : ACM, New York, 2010, S. 325-328.
101. **Monigatti, Paul, Apperley, Mark und Rogers, Bill. 2011.** Visualising present and past: a meter with a flexible pointer. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the New*

- Zealand Chapter of the ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction*. s.l. : ACM, 2011, S. 97-100.
102. **Mori, Masahiro und MacDorman, Karl F. and Kageki, Norri. 2012.** The Uncanny Valley. *Robotics Automation Magazine*. s.l. : IEEE, 2012.
103. **Nass, Clifford und Gong, Li. 2000.** Speech interfaces from an evolutionary perspective. *Communications of the ACM*. s.l. : ACM, New York, 2000, S. 36-43.
104. **Olivier, Patrick, Ha, Hai Nam und Christie, Marc. 2009.** Smart approaches to lighting design. *it - Information Technology*. 2009, Bd. 50, S. 149-156.
105. **Ortony, Andrew, Clore, Gerald L. und Collins, Allan. 1988.** *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge : Cambridge University Press, 1988.
106. **Osborn, Alex F. 1993.** *Applied Imagination*. 3rd revised edition. New York : Creative Education Foundation Press, 1993. ISBN: 0-930222-933.
107. **Osipa, Jason. 2007.** *Stop staring: Facial modeling and animation done right*. Indianapolis : Wiley/Sybex, 2007. ISBN: 978-0-471-78920-8.
108. **Ostermann, Alexander N. 2012.** Stereoskopie in Maya. *Digital Production*. 2012, 3, S. 92-95.
109. **Petersen, John E., Shunturov, Vladislav, Janda, Kathryn, Platt, Gavin und Weinberger, Kate. 2007.** Dormitory residents reduce electricity consumption when exposed to real-time visual feedback and incentives. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. s.l. : Emerald Group Publishing Limited, 2007, S. 16-33.
110. **Plous, Scott. 1993.** *The psychology of judgment and decision making*. New York : McGraw-Hill, 1993. ISBN: 978-0070504776.
111. **Pratt, Kenneth W. und Duewer, David L. 2006.** Visualization technique for uncertainty budgets: Onion charts. *Accreditation and Quality Assurance*. Vol. 10. s.l. : Springer-Verlag, 2006, Bd. Nr. 10, S. 527-530.
112. **Randel, Josephine M., Morris, Barbara A., Wetzel, C. Douglas und Whitehill, Betty V. 1992.** The Effectiveness of Games for Educational Purposes: A Review of Recent Research. *Simulation and Gaming* (23). 1992, S. 261-276.
113. **Raths, David. 2013.** How Badges Really Work in Higher Education. *Campus Technology*. [Online] 20. Juni 2013. [Zitat vom: 06. Juni 2014.]

- <http://campustechnology.com/Articles/2013/06/20/How-Badges-Really-Work-in-Higher-Education.aspx>
114. **Reed, Nicola. 2008.** Regenerate. *Greener Gadgets Design Competition 2008*. [Online] 2008. [Zitat vom: 23. März 2014.] <http://www.core77.com/competitions/GreenerGadgets/projects/4303/>
115. **Reinhart, Florian. 2012.** Designing a Tablet Interface for Effective Energy Usage Feedback Using Persuasive Technologies. *Masterarbeit*. Augsburg: Universität Augsburg, 2012.
116. **Riehmman, Patrick, Möbus, Wieland und Froehlich, Bernd. 2014.** Visualizing Food Ingredients for Children by Utilizing Glyph-Based Characters. *Proceedings of the 12th International Working Conference on Advanced Visual Interfaces 2014 (AVI '14)*. Como, Italien : s.n., 2014.
117. **Rollings, Andrew und Adams, Ernest. 2003.** *On Game Design*. s.l. : New Riders, 2003. ISBN-13: 978-1592730018.
118. **Rougvie, Martin und Olivier, Patrick. 2007.** Dynamic editing methods for interactively adapting cinematographic styles. *Adjunct Proceedings of the 5th European Conference on Interactive TV (Doctoral Consortium)*. 2007.
119. **Scherer, Klaus R. 2005.** What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information*. London, Thousand Oaks, CA and New Delhi : SAGE Publications, 2005, S. 695-729.
120. **Seif El-Nasr, Magy. 2005.** Intelligent Lighting for Game Environments. *Journal of Game Development*. Vol. 1, 2005.
121. **Seif El-Nasr, Magy. 2004.** An Interactive Narrative Architecture based on Filmmaking Theory. *International Journal on Intelligent Games and Simulation*. Vol. 3, 2004, Issue 1.
122. **Seif El-Nasr, Magy, Morie, Jacquelyn Ford und Drachen, Anders. 2001.** A Scientific Look at the Design of Aesthetically and Emotionally Engaging Interactive Entertainment Experiences. *Affective Computing and Interaction: Psychological, Cognitive and Neuroscientific Perspectives*. s.l. : Information Science Publishing, 2001.
123. **Seif El-Nasr, Magy, Zupko, Joseph und Miron, Keith. 2005.** Intelligent lighting for a better gaming experience. *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York : ACM, 2005.

124. **Sengers, Phoebe. 1999.** Designing comprehensible agents. *Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 99)*. Stockholm, Sweden : s.n., 1999, S. 1227-1232.
125. **Sengers, Phoebe, Boehner, Kirsten, David, Shay und Kaye, Joseph 'Jofish'. 2005.** Reflective Design. *Proceedings of the 4th Decennial Conference on Critical Computing: Between Sense and Sensibility*. Aarhus, Denmark : ACM, 2005, S. 49-58.
126. **Sheldon, Lee. 2004.** *Character development and storytelling for games*. Boston : Course Technology, 2004. ISBN: 978-1-59200-353-2.
127. **Shim, Hyunju und Kang, Bo Gyeong. 2008.** Cameo - camera, audio and motion with emotion orchestration for immersive cinematography. *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. New York : ACM, 2008, S. 115-118.
128. **Siero, Frans W., Bakker, Arnold B., Dekker, Gerda B. und van den Burg, Marcel T.C. 1996.** Changing Organizational Energy Consumption Behaviour Through Comparative Feedback. *Journal of Environmental Psychology*. 1996, S. 235-246.
129. **Simon, Stephanie. 2010.** The Secret to Turning Consumers Green. *The Wallstreet Journal*. [Online] 18. Oktober 2010. [Zitat vom: 29. April 2014.] <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052748704575304575296243891721972>
130. **Sinclair, Mike, Pahud, Michel und Benko, Hrvoje. 2014.** TouchMover 2.0 - 3D Touchscreen with Force Feedback and Haptic Texture. *Proc. of IEEE Haptics Symposium, HAPTICS'14*. 2014.
131. **Skau, Drew. 2012.** 2D's Company, 3D's a Crowd. *visual.ly*. [Online] 2012. [Zitat vom: 13. April 2014.] <http://blog.visual.ly/2ds-company-3ds-a-crowd/>
132. **Stanchfield, Walt und Hahn, Don. 2009.** *Drawn to life: 20 golden years of Disney master classes*. Amsterdam; Boston : Focal Press/Elsevier, 2009. ISBN: 978-0-240-81096-6.
133. **Stern, Andrew, Frank, Adam und Resner, Ben. 1998.** Virtual Petz (Video Session): A Hybrid Approach to Creating Autonomous, Lifelike Dogz and Catz. *Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents (AGENTS'98)*. Minneapolis, Minnesota, USA : ACM, New York, 1998, S. 334-335.

134. **Thielsch, Meinald T. und Moshagen, Morten. 2011.** Erfassung visueller Ästhetik mit dem VisAWI. *Usability Professionals*. Stuttgart, Germany : Brau, Henning; Lehmann, Andreas; Petrovic, Konstanija; Schroeder, Matthias C., 2011, S. 260-265.
135. **Thomas, Frank und Johnston, Ollie. 1981.** *The Illusion of Life*. s.l. : Disney Editions, 1981. ISBN: 978-078686070-8.
136. **Tomlinson, William Michael Jr. 1999.** *Interactivity and Emotion through Cinematography*. Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, 1999. Masterarbeit, veröffentlicht u.a. auf SIGGRAPH.
137. **Tufte, Edward Rolf. 2006.** *Envisioning information*. Cheshire : Graphics Press, 2006. ISBN: 978-0-9613921-1-6.
138. **Tufte, Edward Rolf. 2011.** *The visual display of quantitative information*. Cheshire, Connecticut : Graphics Press, 2011. ISBN: 978-0-9613921-4-7.
139. **Ullrich, Wolfgang. 2005.** *Was war Kunst? Biografien eines Begriffs*. Frankfurt am Main : Fischer-Taschenbuch-Verlag, 2005. ISBN: 978-3596163175.
140. **Valkanova, Nina, Jorda, Sergi, Tomitsch, Martin und Vande Moere, Andrew. 2013.** Reveal-it!: The Impact of a Social Visualization Projection on Public Awareness and Discourse. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'13)*. Paris, France : ACM, New York, USA, 2013, S. 3461-3470.
141. **van Sijll, Jennifer. 2005.** *Cinematic storytelling: The 100 most powerful film conventions every filmmaker must know*. s.l. : Michael Wiese Productions, 2005. 9781932907056.
142. **Verborgh, Ruben. 2013.** Programming is an Art. [Online] 21. Februar 2013. [Zitat vom: 05. Oktober 2013.] <http://ruben.verborgh.org/blog/2013/02/21/programming-is-an-art/>
143. **Walter, Aarron. 2011.** *Designing for emotion*. New York : A Book Apart, 2011. ISBN: 978-1-937557-00-3.
144. **Wetzel, Christoph. 2007.** *Reclams Sachlexikon der Kunst*. Stuttgart : Reclam, 2007. ISBN: 978-3-15-010601-3.
145. **Whitlatch, Terry und Carrau, Bob. 2010.** *The wildlife of Star Wars: A field guide*. San Francisco : Chronicle Books, 2010. ISBN: 978-0-8118-2869-7.

146. **Wiedemann, Thomas. 2014.** *Eyetracking zur Analyse visualisierter Daten*. Augsburg : Universität Augsburg, Lehrstuhl für Human Centered Multimedia, 2014. Bachelorarbeit.
147. **Williams, Eliza. 2012.** Imagine with Lego. *CR Blog*. [Online] Creative Review, 20. März 2012. [Zitat vom: 18. Mai 2014.] <http://www.creativereview.co.uk/cr-blog/2012/march/imagine-with-lego>
148. **Wißner, Michael, Beek, Wouter, Lozano, Esther, Mehlmann, Gregor, Linnebank, Floris, Liem, Jochem, Häring, Markus, Bühling, René, Gracia, Jorge, Bredeweg, Bert und André, Elisabeth. 2011.** Character Roles and Interaction in the DynaLearn Intelligent Learning Environment. *Artificial Intelligence in Education (AIED11)*. Berlin Heidelberg : Springer, 2011, S. 585-587.
149. **Wißner, Michael, Beek, Wouter, Lozano, Esther, Mehlmann, Gregor, Linnebank, Floris, Liem, Jochem, Häring, Markus, Bühling, René, Gracia, Jorge, Bredeweg, Bert und André, Elisabeth. 2012.** Increasing Learners' Motivation through Pedagogical Agents: The Cast of Virtual Characters in the DynaLearn ILE. *Agents for Educational Games and Simulations (AEGS 2011)*. Taipei, Taiwan : Springer Berlin Heidelberg, 2012, S. 151-165.
150. **Wulff, Hans Jürgen. 2012.** Mise-en-scène. *Lexikon der Filmbegriffe*. [Online] 12. Oktober 2012. [Zitat vom: 04. Dezember 2013.] <http://filmlexikon.uni-kiel.de/index.php?action=lexikon&tag=det&id=4741> ISSN: 1610-420X.
151. **Zupko, Joseph und Seif El-Nasr, Maggy. 2009.** System for automated interactive lighting (sail). *Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Digital Games*. New York : ACM, 2009, S. 223-230.

10.2 Externe Bildquellen

1. **Blender Foundation. 2008.** Big Buck Bunny. *Lizenziert unter Creative Commons Attribution 3.0*. (c) copyright 2008, Blender Foundation / www.bigbuckbunny.org
2. **Brihi, Emilie. 2011.** Prototypische Umsetzung des Formsprache-Konzepts. *Entstanden im Rahmen des RISE-Gaststudentenprogramms am Lehrstuhl Human Centered Multimedia, Universität Augsburg*.
3. **Bühling, René und Flutura, Simon. 2009-2011.** Modellierung und Animation virtueller Charaktere für das DynaLearn-Projekt. Projektarbeit, Universität Augsburg. <http://www.dynalearn.eu>

4. **Fendt, Stefan. 2013.** Datenvisualisierung anhand eines Characters. *Bachelorarbeit.* Universität Augsburg, 2013.
5. **Friedrich, Caspar David. 1823-1824.** Das Eismeer. *Lizenziert als Public Domain durch Wikimedia Commons.* Bild-ID: Caspar David Friedrich 006.jpg. Version: 14.03.2008 14:50
6. **Friedrich, Caspar David. ca. 1830-1835.** Mann und Frau den Mond betrachtend. *Lizenziert als Public Domain durch Wikimedia Commons.* Bild-ID: Caspar David Friedrich 028.jpg, Version: 01.03.2008 10:37
7. **Heimerl, Alexander. 2013.** Prototypische Umsetzung einer Android-App zur Energiedatenvisualisierung mittels TimePie und TimeStack. *Entstanden im Rahmen eines Praxismoduls am Lehrstuhl Human Centered Multimedia, Universität Augsburg.*
8. **Huber, Peter. 2012.** *Dynamic Environment Simulation in a 3D Realtime Scenario.* Augsburg : Universität Augsburg, 2012. Masterarbeit.
9. **Kuindzhi, Arkhip. 1890-1895.** Der Elbrus, Mondnacht. *Lizenziert als Public Domain durch Wikimedia Commons.* Bild-ID: Archip Iwanowitsch Kuindshi 002.jpg, Version: 19.05.2005 18:58
10. **Microsoft Office. 2012.** Clipart aus der in Word und PowerPoint integrierten Bilddatenbank zur Dokumentgestaltung.
11. **Mm5962. 2009.** Acrylique picture. *Lizenziert über Creative Commons Attribution-Share Alike auf Wikimedia Commons.* Bild-ID: Mm5962PaintingAbstraction.jpg, Version: 18.09.2009 10:42
12. **Stoll, Michael. 2010.** Showing, how perspective affects the comparability of pie-chart-pieces. *Nutzung mit Zustimmung des Autors.*
13. **Vohsen, Kimberly. 2008.** Retro Games. *Lizenzfrei (Royalty Free) angeboten auf Stock.XCHNG.* Bild-ID: 1326320 Version: 22.12.2010
14. **Zacharzewski, Michal. 2008.** Musing Girl Silhouette. *Lizenzfrei (Royalty Free) angeboten auf Stock.XCHNG.* Bild-ID: 1122905, Version: 19.12.2008
15. **Zacharzewski, Michal. 2009.** Silhouette. [bearbeitet] *Lizenzfrei (Royalty Free) angeboten auf Stock.XCHNG.* Bild-ID: 1191593, Version: 31.05.2009
16. Umschlagfoto: **Hester, Darren. 2010.** Sweetgum Seed Capsule. *Lizenziert unter Creative Commons Attribution 3.0.* Pixel Perfect Digital, Inc., pixelperfectdigital.com

10.3 Lebenslauf und Profil des Autors

René Daniel BÜHLING

Dipl.-Informatiker (FH), Dipl.-Designer (FH), Master of Science, Master of Arts

Berufliche Erfahrung

03/2013 – 12/2014	Hochschule Augsburg, Institut für Informatik Wissenschaftlicher Mitarbeiter
01/2009 – 12/2014	Universität Augsburg, LSt. Human Centered Multimedia Wissenschaftlicher Mitarbeiter
07/2008 – 12/2008	Travian Games GmbH, München Frontend-Programmierer für Browsergames
10/2007 – 03/2009	Hochschule Augsburg, Fachbereich Gestaltung Lehrbeauftragter 3D-Gestaltung
10/2003 – 01/2009	Selbstständige Tätigkeit als Multimedia-Entwickler

Studium und Ausbildung

03/2011 – 11/2012	Zertifikat Hochschullehre Bayern, Universität Augsburg zur Förderung hochschuldidaktischer Kompetenzen
seit 01/2009	Universität Augsburg Doktorand am LSt. für Human Centered Multimedia
03/2007 – 07/2008	Hochschule Augsburg, Master Interaktive Mediensysteme (MA) Studienschwerpunkt "Game Development"
03/2006 – 02/2007	Hochschule Augsburg, Master Informatik (MSc) Studienschwerpunkt "Informations- und Wissensmanagement"
10/2004 – 02/2006	Hochschule Augsburg, Diplom Multimedia (Dipl.-Des.) Studienschwerpunkt "Multimedia-Gestaltung"
10/1999 – 07/2004	Hochschule Augsburg, Diplom Multimedia (Dipl.-Inf.) Studienschwerpunkt "Multimedia-Informatik"

Projektarbeiten

EU-Projekt DynaLearn, BMBF-Projekt IT4SE, Arbeitsgruppe Internetauftritt und Server-Administration des Lehrstuhls, Projektkooperationen mit dem Fachbereich Geografie sowie mit der Regio Augsburg Tourismus GmbH, Workshop-Organisation FSEA (AVI 2014)

10.3.1 Publikationen

Begutachtete Publikationen

1. **André, Elisabeth, Bühling, René, Endrass, Birgit, Masoodian, Masood. 2014.** Evaluating the Effectiveness of Visualizations for Comparing Energy Usage Data. *Workshop Proceedings of FSEA 2014, The AVI 2014 Workshop on Fostering Smart Energy Applications through Advanced Visual Interfaces*. Como, Italy. Working Paper Series 01/2014, Department of Computer Science, The University of Waikato, pp.5-8
2. **Obaid, Mohammad, Kistler, Felix, Häring, Markus, Bühling, René, André, Elisabeth. 2014.** A Framework for User-Defined Body Gestures to Control a Humanoid Robot. *International Journal of Social Robotics*. Springer Netherlands, pp. 1-14
3. **Bredeweg, Bert, Liem, Jochem, Beek, Wouter, Linnebank, Floris, Gracia, Jorge, Lozano, Esther, Wißner, Michael, Bühling, René, Salles, Paulo, Noble, Richard, Zitek, Andreas, Borisova, Petya, Mioduser, David. 2013.** DynaLearn – An Intelligent Learning Environment for Learning Conceptual Knowledge. *AI Magazine* 34(4), pp. 46-65.
4. **Masoodian, Masood, Endrass, Birgit, Bühling, René, Ermolin, Pavel, André, Elisabeth. 2013.** Time-pie visualization: Providing contextual information for energy consumption data. *Proc. of the 17th International Conference on Information Visualisation*. iV2013, London, Great Britain.
5. **Bühling, René, Kistler, Felix, Erdenejargal, Byambasuren, André, Elisabeth. 2013.** Stereoskopische Projektionen berührbar machen, *Beitrag im Tagungsband des 11. Usability Day zum Thema ‘Natural User Interfaces’*. uDayXI, 2013, Dornbirn, Österreich.
6. **Bühling, René, Obaid, Mohammad, Hammer, Stephan, André, Elisabeth. 2012.** Mobile Augmented Reality and Adaptive Art – A game-based Motivation for Energy Saving. *Proc. of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. MUM 2012, Ulm, Germany.
7. **Obaid, Mohammad, Häring, Markus, Kistler, Felix, Bühling, René, André, Elisabeth. 2012.** User-Defined Body Gestures for Navigational Control of a Humanoid Robot. *Proc. of the International Conference on Social Robotics*. ICSR 2012, Chengdu, China.
Nomination for Best Paper Award
8. **Wißner, Michael, Beek, Wouter, Lozano, Esther, Mehlmann, Gregor, Linnebank, Floris, Liem, Jochem, Häring, Markus, Bühling, René, Gracia, Jorge, Bredeweg,**

- Bert, André, Elisabeth. 2012.** Increasing Learners' Motivation through Pedagogical Agents: The Cast of Virtual Characters in the DynaLearn ILE. *Agents for Educational Games and Simulations*. Berlin/Heidelberg, 2012, pp. 151-165, LNAI 7471.
9. **Bühling, René, Brihi, Emilie, Wißner, Michael, André, Elisabeth. 2011.** Adaptive Art – A Shape Language Driven Approach to Communicate Dramaturgy and Mood, *Proc. of the 4th International Conference on Interactive Digital Storytelling*. ICIDS 2011, Vancouver, Canada, Springer, 2011, pp. 290-293.
10. **Bühling, René, Wißner, Michael, André, Elisabeth. 2011.** Visual Communication in Interactive Multimedia. In *Dickmann, L., ed.: The 11th International Symposium on Smart Graphics (SG11)*. Volume LNCS 6815., Springer, 2011, pp. 159-162.
11. **Beek, Wouter, Liem, Jochem, Linnebank, Floris, Bühling, René, Wißner, Michael, Lozano, Esther, Gracia del Río, Jorge, Bredeweg, Bert. 2011.** Knowledgeable Feedback via a Cast of Virtual Characters with Different Competences. *Proc. of the 15th Int. Conf. on Artificial Intelligence in Education, AIED 2011*. Christchurch, New Zealand, Springer, 2011, p. 620.
12. **Wißner, Michael, Beek, Wouter, Lozano, Esther, Mehlmann, Gregor, Linnebank, Floris, Liem, Jochem, Häring, Markus, Bühling, René, Gracia, Jorge, Bredeweg, Bert, André, Elisabeth. 2011.** Character Roles and Interaction in the DynaLearn Intelligent Learning Environment. *Proc. of the 15th Int. Conf. on Artificial Intelligence in Education, AIED 2011*, Christchurch, New Zealand, Springer, 2011, pp. 585-587.
13. **Bühling, René, Wißner, Michael, Häring, Markus, Mehlmann, Gregor, André, Elisabeth. 2010.** Design Decisions for Virtual Characters in the DynaLearn Interactive Learning Environment. *Book of Abstracts of the 7th International Conference on Ecological Informatics*. Ghent University, Belgium. December 2010, pp. 144-145.
14. **Endraß, Birgit, Wißner, Michael, Mehlmann, Gregor, Bühling, René, Häring, Markus, André, Elisabeth. 2010.** Teenage Girls as Authors for Digital Storytelling – A Practical Experience Report. *Workshop on Education in Interactive Digital Storytelling held at ICIDS*, Edinburgh, UK.
15. **Mehlmann, Gregor, Häring, Markus, Bühling, René, Wißner, Michael, André, Elisabeth. 2010.** Multiple Agent Roles in an Adaptive Virtual Classroom Environment. *10th International Conference on Intelligent Virtual Agents*. J. Albeck, N. Badler, T. Bickmore, C. Pelachaud and A. Safonova, Eds., IVA 2010, Philadelphia, PA, USA. Springer, 2010, pp. 250-256.

16. **Bredeweg, Bert, Liem, Jochem, Linnebank, Floris, Bühling, René, Wißner, Michael, Gracia del Río, Jorge, Salles, Paulo, Beek, Wouter, Gómez Pérez, Asunción. 2010.** *DynaLearn: Architecture and Approach for Investigating Conceptual System Knowledge Acquisition. Intelligent Tutoring Systems*. V. Aleven, J. Kay and J. Mostow, Eds., 10th International Conference, ITS 2010, Pittsburgh, PA, USA. Springer, 2010, pp. 272-274.
17. **Liem, Jochem, Bredeweg, Bert, Linnebank, Floris, Bühling, René, Wißner, Michael, Gracia del Río, Jorge, Beek, Wouter, Gómez Pérez, Asunción. 2010.** Acquiring Conceptual Knowledge about How Systems Behave. *Intelligent Tutoring Systems*. V. Aleven, J. Kay and J. Mostow, Eds., 10th International Conference, ITS 2010, Pittsburgh, PA, USA. Springer, 2010, p. 448.

EU-Deliverables

18. **Wißner, Michael, Bühling, René, Linnebank, Floris, Beek, Wouter, André, Elisabeth. 2011.** Integrated characters with dialogue and tutorial strategies. *Deliverable D5.4*. DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526.
19. **Wißner, Michael, Häring, Markus, Bühling, René, Beek, Wouter, Linnebank, Floris, Liem, Jochem, Bredeweg, Bert, André, Elisabeth. 2010.** “Basic Help and Teachable Agent”, 2010, DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526, Deliverable D5.3.
20. **Wißner, Michael, Häring, Markus, Mehlmann, Gregor, Bühling, René, Milosevic, Urosh, Liem, Jochem, Linnebank, Floris, Beek, Wouter, Bredeweg, Bert, André, Elisabeth. 2010.** Basic Tutorial Tactics for Virtual Agents. *Deliverable D5.2*. DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526.
21. **Bredeweg, Bert (ed.), André, Elisabeth, Bee, Nikolaus, Bühling, René, Gómez-Pérez, Jose Manuel, Häring, Markus, Liem, Jochem, Linnebank, Floris, Thanh Tu Nguyen, Brenda, Trna, Michal, Wißner, Michael. 2009.** Technical design and architecture. *Deliverable D2.1*, DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526.
22. **André, Elisabeth, Bühling, René, Bee, Nikolaus, Wißner, Michael, & Häring, Markus. 2009.** Models and basic animations for characters. *Deliverable D5.1*, DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526.

Videos

23. **Bühling, René. 2012.** Connecting FUBI Gesture Recognition with Blender 2.6 Game Engine. *Video on youtube.com*, http://youtu.be/2QkAez8L4_k
24. **Bühling, René. 2012.** Visual Adaption 4: Using Energy Consumption as Input Driver for Adaptive Artwork. *Video on youtube.com*, http://youtu.be/smn6FtB_ZMw
25. **Bühling, René. 2012.** DynaLearn “Why?”. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/FYjKlaGTLdc>
26. **Bühling, René. 2012.** DynaLearn Quiz, 2012. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/h1FSaaPx0nI>
27. **Bühling, René. 2012.** DynaLearn How to?. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/4ntTUtl2C7E>
28. **Bühling, René. 2012.** DynaLearn What is?. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/hvMNnFafc3I>
29. **Bühling, René. 2012.** DynaLearn Teachable Agent. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/nKou3nSnUfA>
30. **Bühling, René, Brihi, Emilie. 2011.** Visual Adaption: 1 – Introducing VA. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/3cyj3xcNQxM>
31. **Bühling, René, Brihi, Emilie. 2011.** Visual Adaption: 2 – A Shape Language driven Approach to communicate Dramaturgy and Mood. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/0js9uTz-mhs>
32. **Bühling, René. 2011.** DynaLearn Movie. *Video on youtube.com*, <http://youtu.be/GhOsNRDge6U>

Präsentationen/Vorträge

33. **Bühling, René, André, Elisabeth, Endrass, Birgit, Masoodian, Masood. 2014.** Evaluating the Effectiveness of Visualizations for Comparing Energy Usage Data. *Vortrag auf dem AVI 2014-Workshop on Fostering Smart Energy Applications through Advanced Visual Interfaces.* May 2014. Como, Italien.
34. **Bühling, René, Endrass, Birgit. 2013.** TimeStack - Evolution of TimePie. *Vortrag auf dem 9. IT4SE Workshop.* Dezember 2013. Universität Augsburg.
35. **Bühling, René, Endrass, Birgit. 2012.** Research reports from the team of the University of Augsburg. *Vortrag auf dem 6. IT4SE Workshop.* November 2012. Fachhochschule Augsburg.
36. **Bühling, René. 2011.** Adaptive Art – Ein Formsprache-basierter Ansatz um Dramaturgie und Stimmung zu transportieren. *Projektvorstellung anlässlich des zehnjährigen Lehrstuhljubiläums.* Oktober 2011. Universität Augsburg.
37. **André Elisabeth, Bühling, René, Wißner, Michael. 2011.** Design Decisions for Virtual Characters in the DynaLearn Interactive Learning Environment. *Workshop AI and Education.* Februar 2011. Universidade de Brasília, Brazil.
38. **Bühling, René, Wißner, Michael, Häring, Markus, Mehlmann, Gregor, André, Elisabeth. 2010.** Design Decisions for Virtual Characters in the DynaLearn Interactive Learning Environment. *Präsentation auf der 7th International Conference on Ecological Informatics.* December 2010. Ghent University, Belgium.
39. **Bühling, René. 2010.** Promotion als Multimedialer. *Vortrag in der Reihe "Exusu".* Juli 2010, Fachhochschule Augsburg.
40. **Bühling, René, Wißner, Michael, André, Elisabeth, et al. 2010.** Engaging Virtual Characters in Learning Environment. *Poster presented at the Europe Day in Augsburg.* May 2010

10.3.2 Lehrtätigkeit

- **Raum und Orientierung** (3D-Design, Hochschule Augsburg)
Vorlesung und Übung für Bacheloranden Interaktive Mediensysteme
im Wintersemester 2007 und Sommer/Wintersemester 2008
- **Einführung in die 3D-Gestaltung** (Universität Augsburg)
Vorlesung und Übung für Bacheloranden Informatik (& Multimedia)
im Sommersemester 2009, sowie im Wintersemester 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
- **Character-Design** (Universität Augsburg)
Vorlesung und Übung für Bacheloranden Informatik (& Multimedia)
im Sommersemester 2010, 2011, 2012, 2013, 2014
- **Multimedia-Projekt** (Universität Augsburg)
Praktikum für Bacheloranden Informatik (& Multimedia)
Themen: Stereoskopie, Mobile Augmented Reality
im Wintersemester 2011, 2012, 2013
- **Projektgruppen Multimedia und Informatik** (Hochschule Augsburg)
Praktikum für Bacheloranden Informatik bzw. Interaktive Medien
Themen: Energiedatenvisualisierung, Spielentwicklung
im Sommersemester 2013 und 2014
- **Praxismodul HCM** (Universität Augsburg)
Individuelle Praktika für Bacheloranden Informatik (& Multimedia)
Themen: Filmische Dokumentation der Nao-Roboter, Datenvisualisierung in
einer Android-App, Stereoskopie, Oculus-Rift als Game-Controller
im Sommersemester 2011, 2014 (2x), sowie Wintersemester 2011, 2013
- **RISE-Praktikum** (Universität Augsburg)
Betreuung nordamerikanischer Gaststudenten im Rahmen im Rahmen des in-
ternationalen Austauschprogramms RISE des DAAD
im Sommersemester 2011 und 2012
- **Betreuung von wissenschaftlichen Hilfskräften** (Universität Augsburg)
in den Bereichen 3D-Gestaltung, div. Projektarbeiten und Webservertätigkeiten
kontinuierlich seit 2010

10.3.3 Betreuung studentischer Abschlussarbeiten

Diplom- und Bachelorarbeiten

Wendling, Stefan. Entwicklung eines Generators zur automatischen Erstellung von Gebäuden. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2015.

Stocker, Christoph. Entwicklung neuer Spielmechaniken auf Basis der Oculus Rift. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2014.

Ellinger, Florian. Fiberglass Phicons - Lichtwellenleiter als Bauelement in haptischen Steuerelementen. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2014.

Zoheir, Amina. Interactive Stereoscopy. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, in Kooperation mit der German University Cairo, 2014.

Wiedemann, Thomas. Eyetracking zur Analyse visualisierter Daten. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2014.

Erdenejargal, Byambasuren. Kombination von Stereoskopie und Gestenerkennung. *Diplomarbeit*. Universität Augsburg, 2013.

Fendt, Stefan. Datenvisualisierung anhand eines Characters. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2013.

Herrmann, Christoph. Professionelles Tennistraining mit Kinect. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2012.

Ritschel, Hannes. Musikbasierte Charakter-Animation. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2012.

Kaufmann, Patricia. Grafische Anpassung virtueller Charaktere in interaktiven Echtzeitanwendungen. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2011.

Steger, Markus. Aufbau einer virtuellen Kunstaussstellung mit interaktiven Elementen. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2011.

Voroponova, Victoria. Entwicklung eines Toolkits für visuelle Konzepte. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2011.

Flutura, Simon. Cinematische Techniken als narrative Gestaltungselemente in Computerspielen. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2010.

Goj, Michael. Entwurf und Prototypisierung eines musikalisch gesteuerten Flash-Spiels zum Erlernen von Melodien. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2010.

Bach, Alexander. Charakteranimation dreier verschiedener Persönlichkeitstypen anhand eines Kurzfilms. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2009.

Stampfer, Christan. Untersuchung der Wirkung stereoskopischer Effekte am Beispiel eines 3D-Animationsfilms. *Bachelorarbeit*. Universität Augsburg, 2009.

Masterarbeiten

Heil, Alexandra. Gegenüberstellung und Evaluierung sachlicher und ästhetischer Visualisierungstechniken. *Masterarbeit*. Universität Augsburg, 2015.

Pehlke, Andreas. Untersuchung der Wirkung von Farbkompositionen auf das Entscheidungsverhalten des Anwenders. *Masterarbeit*. Universität Augsburg, 2015.

Flutura, Simon. Selbstorganisation als Werkzeug zum transportieren narrativer, visueller Themen in 3D-Inszenierungen. *Masterarbeit*. Universität Augsburg, 2013.

Ermolin, Pavel. Datenvisualisierung und -analyse auf einem Tablet-PC am Beispiel einer nativen Energiemanagement-iPad-App. *Masterarbeit*. Universität Augsburg, 2013.

Delker, Stefan. Entwicklung eines Animationseditors auf Basis einer in Echtzeit simulierten interaktiven virtuellen Welt. *Masterarbeit*. Universität Augsburg, 2012.

Huber, Peter. Dynamic Environment Simulation in a 3D Realtime Scenario. *Masterarbeit*. Universität Augsburg, 2012.

Demharter, Thomas. Gestenbasierte Interaktion per Datenhandschuh. *Masterarbeit*. Universität Augsburg, 2010.